Hansen: Der Hering

Digitized by the Internet Archive
in 2025 with funding from
University of Toronto

https://archive.org/details/34444006668248

Agric.
Soil
H

Seinem hochverehrten Lehrer
Herrn Professor Dr. Freiherr von der Goltz
d. Verf.

Der Humus

in seiner Bedeutung für den Boden.

Von

Dr. J. Hansen.

(Separat-Abdruck aus dem Jahresbericht über das Schuljahr 1887—1888 der Großherzogl. Sächs. Karl Friedrichs-Ackerbauschule zu Zwätzen bei Jena.)

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

87724
28/5/08.

Jena 1888

Druck von G. Neuenhahn.

Der Humus
in seiner Bedeutung für den Boden.

Von

Dr. J. Hansen.

Die Ernährung der Pflanzen hat unzweifelhaft für den Landwirth ein ganz besonderes Interesse. Es kann daher nicht befremden, wenn die ersten Anfänge einer wissenschaftlichen Behandlung der Landwirthschaft über die Art und den Bezug derjenigen Stoffe, welche die Pflanzen zum Aufbau ihres Organismus gebrauchen, Aufschluß zu geben versuchen. Daß dabei nicht gleich alle Thatsachen richtig erkannt worden sind, sondern daß einstweilen mancher Irrthum entstand, ist ohne weiteres begreiflich. Man beobachtet hier dasselbe wie auf allen anderen wissenschaftlichen Gebieten. Unanfechtbare Theorien entstehen nicht über Nacht, sondern die Bausteine zu denselben müssen erst nach und nach mühsam zusammengetragen werden, und aus den vereinigten Beobachtungen eines ganzen Zeitalters lernt man dann allmählich die Wahrheit erkennen.

Es soll in dem Folgenden Aufgabe sein, die landwirthschaftliche Bedeutung des Humus darzulegen und zwar in der Weise, daß, bei Thaer beginnend, zu zeigen versucht wird, wie sich im Laufe unseres Jahrhunderts die Ansichten über diesen Gegenstand geändert haben. Darauf wird vorzuführen sein, welcher Einfluß dem Humus nach den heutigen Anschauungen auf den Boden und damit auf die landwirthschaftlichen Kulturpflanzen zugeschrieben werden muß.

Zu weit würde es führen, wenn die Untersuchungen von Ingenhouß, Sennebier, de Saussure u. A., welche der Aufstellung der Humustheorie von Thaer vorangingen, besonders behandelt würden. Dieselben sollen daher nur dann herangezogen werden, wenn dies zum Verständniß der folgenden Ausführungen nothwendig erscheint.

Thaer's Verdienste werden dadurch stets unvergeßlich bleiben, daß durch ihn zuerst die Landwirthschaft in wissenschaftliche Bahnen gelenkt wurde, indem er die althergebrachten Erfahrungen weiter ausführte und mit Hülfe der Naturwissenschaften und der Volkswirthschaftslehre wissenschaftlich zu begründen versuchte. Daß dabei nicht allenthalben völlig richtige Ansichten entstehen konnten, ist ohne weiteres klar, zumal wenn man den niedrigen Standpunkt, auf welchem sich damals die Naturwissenschaften befanden, berücksichtigt. Thaer war in erster Linie immer auf die Erfahrungen angewiesen, welche von der landwirthschaftlichen Praxis im Laufe der Zeit gesammelt worden waren und nur zu häufig sind solche praktischen Erfahrungen unsicher genug. An dieser Stelle kommt nur die Theorie, welche Thaer im Betreff der Pflanzenernährung aufstellte, die sog. Humustheorie, in Betracht.

Aus der allgemeinen Beobachtung, daß ein Feld um so fruchtbarer ist, je mehr Humus — dieser Name wurde zuerst von Thaer und Einhof für das Zersetzungsprodukt der organischen Stoffe, das man bis dahin als Moder oder Dammerde bezeichnet hatte, eingeführt — es enthält, zog Thaer bereits 1795 [1]) den Schluß, daß der Humus diejenige Substanz sein müsse, welche die Pflanzen zum Aufbau ihres Organismus gebrauchen. Zwar ist es Thaer nicht unbekannt, daß von einigen Seiten den Aschenbestandtheilen eine Bedeutung als Pflanzennährstoff zugeschrieben wird, doch scheint er dies nicht mit den Erfahrungen der Landwirthe in Einklang bringen zu können. Er sagt: „Aber schon längst war die Wahrheit empirisch anerkannt, und kein Landwirth bezweifelte die große Wirkung, ja selbst die Unentbehrlichkeit verwesender Körper zur Hervorbringung vollkommener reichliche Früchte tragender Gewächse" [2]). Thaer nimmt dabei namentlich Bezug auf die Experimente von Hassenfraz, nach denen die Pflanzen den Kohlenstoff sämmtlich aus den im Boden vorhandenen Resten des Mistes aufnehmen sollen.

Die Ansichten von Thaer finden sich dann weiter ausgeführt in seinem 1809 erschienenen Hauptwerke „Grundsätze der rationellen Landwirthschaft". Hier heißt es wörtlich: „Der Humus macht einen mehr oder minder großen Bestandtheil des Bodens aus. Die Fruchtbarkeit des Bodens hängt eigentlich ganz von ihm ab, denn außer dem Wasser ist er es allein, was den Pflanzen im Boden Nahrung giebt". „Sowie der Humus eine Erzeugung des Lebens ist, so ist er auch die Bedingung des Lebens. Ohne ihn läßt sich daher kein individuelles Leben, wenigstens der vollkommeneren Thiere und Pflanzen, auf dem Erdboden denken [3])." Den Aschenbestandtheilen, welche sich, wie Thaer recht gut weiß, immer in geringer Menge in den Pflanzen finden, schreibt er keinen weiteren Einfluß zu. Sein diesbezüglicher Ausspruch lautet: .... „daß aber aus den eigentlichen unzersetzbaren und feuerbeständigen Erden nichts Bedeutendes in die Vegetation übergehe, diese also nur instrumentell zur Schützung und Haltung der Pflanzenwurzeln und zur Aufbewahrung der Nahrungsstoffe, nicht materiell als Nahrungsstoff selbst wirken, haben neuerdings die Saussure'schen und Schrader-schen Analysen noch mehr bestätigt" [4]). Schrader glaubte allerdings gefunden zu haben, daß die Aschenbestandtheile in den Pflanzen selbst durch die Lebensthätigkeit erzeugt werden [5]), de Saussure an dieser Stelle zu citiren, war Thaer aber jedenfalls nicht berechtigt, denn dieser hat Aehnliches nie behauptet, ja er warnt sogar ausdrücklich vor einer solchen Auffassung [6]), weil er im Humus stets alkalische Salze vorgefunden habe. De Saussure will sogar einen Theil der Wirksamkeit der Extraktivstoffe der Dammerde — an diese glaubt auch er, wenn er auch selber nachweist, daß die Kohlensäure der Luft für das Gedeihen der Pflanzen nothwendig ist — dem Umstande zuschreiben, daß der Humus alle Aschenbestandtheile, welche die Pflanzen gebrauchen, enthält. Daß Thaer seine Zuflucht zur Lebenskraft nimmt, darf weiter nicht befremden, da diese hypothetische Kraft, welche so lange ein Hinderniß jeder exakten Naturforschung gewesen ist, damals noch allgemein anerkannt wurde.

Thaer folgert in seinem genannten Werke nun weiter, daß der Humus, da er die Nahrung der Pflanzen bildet, durch die Ernten allmählich verschwinden und dementsprechend der Boden, wenn nicht durch den Dünger für neue Zufuhr gesorgt wird, allmählich erschöpft werden muß. Nach der Menge der nahrungsfähigen Materie — derjenige Theil des Humus, der zum Uebergang in die Pflanzen geeignet ist — richtet sich die Ueppigkeit der Vegetation. Thaer spricht in diesem Sinne von der Fruchtbarkeit, dem Reichthum oder der Kraft des Bodens. Da aber die Pflanzen nicht gleich

1) Anleitung zur Kenntniß der englischen Landwirthschaft. 1798. Das Werk war bereits 1795 geschrieben.

2) A. a. O. S. 144.

3) Grundsätze der rationellen Landwirthschaft, Bd. 2, S. 107.

4) Das. II, S. 235.

5) Vergl. Knop, Kreislauf des Stoffs, Bd. I, S. 522.

6) Chemische Untersuchungen über die Vegetation. Deutsch von Voigt. 1804.

zusammengesetzt sind, so werden sie dem Boden auch verschiedene Mengen nahrungsfähiger Materie entziehen. Indem Thaer nach Analysen von Einhof dieses nun rechnerisch zu verfolgen sucht, wird er zum Begründer der Statik des Landbaues. Auf die letztere kann an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

Nicht unbekannt ist es Thaer übrigens, daß von einzelnen mineralischen Substanzen eine gute Wirkung auf die Fruchtbarkeit des Bodens konstatirt wurde. Er schreibt dies jedoch lediglich dem Umstande zu, daß die betreffenden Salze den Humus zur Aufnahme in die Pflanzen geeigneter machen. Aus einem Vortrag, den Thaer am 3. Februar 1814 in der Akademie der Wissenschaften zu Berlin hielt, geht aber hervor, daß er über die Bedeutung des Auftretens der Aschenbestandtheile in den Pflanzen ins Schwanken gerieth. Er sagt an dieser Stelle, nachdem er hervorgehoben hat, daß der Humus die wesentlichste Nahrung der Pflanzen sei: „Selbst die Erde, welche die Pflanzen als integrirende Theile in geringem Verhältniß zu ihrer Masse enthalten, giebt ihnen der Humus in fein aufgelöster Gestalt“ [1]). Er neigt sich dabei offenbar der Ansicht zu, daß wenigstens ein Theil der Aschenbestandtheile als solche aus dem Boden in die Pflanzen übergeht, während er wie sich aus andern an derselben Stelle gemachten Ausführungen ergiebt, noch annimmt, daß ein anderer Theil der mineralischen Stoffe der Lebenskraft sein Dasein verdankt.

Mit diesem Vorgehen Thaers war diejenige Ansicht, welche man mit dem Namen Humustheorie bezeichnet hat, aufgestellt und die folgenden Ausführungen werden ergeben, daß sich diese Anschauung über das Wesen der Pflanzenernährung lange Zeit hindurch gehalten hat. Wohl findet man schon frühzeitig einige Zweifel gegen die Richtigkeit der erwähnten Theorie ausgesprochen, Thaer selbst kann ja schon hierfür angeführt werden, doch bedurfte es erst eines sehr energischen Hinweises seitens der Wissenschaft und eines bedeutenden experimentellen Materiales, bis man zu richtigen Ansichten kam. Erschwert wurde die Sache ganz wesentlich durch die sog. landwirthschaftlichen Erfahrungen, welche sich, bei oberflächlicher Betrachtung wenigstens, mit den Lehren der Humustheorie einigermaßen in Uebereinstimmung bringen ließen. Es soll jetzt Aufgabe sein, aus den Werken der bedeutenderen Schriftsteller der Folgezeit darzulegen, welche Stellung diese zu der Humustheorie genommen haben.

Von Vertretern der Wissenschaft tritt zuerst Humphry Davy [2]) auf. Seine Ansichten decken sich wesentlich mit denjenigen Thaers. Großen Werth legt Davy darauf, daß die Pflanzen ihre Nahrung nur aus Lösungen aufnehmen können. Der Humus soll namentlich dadurch für die Ernährung der Gewächse wirksam werden, daß er zuckerige, schleimige und extraktartige Stoffe enthält, die unmittelbar als Nahrung für die Pflanzen geeignet sind. Bekannt ist es Davy jedoch, daß die Pflanzen Kohlensäure aus der Luft aufnehmen und diese zerlegen, wobei Kohlenstoff zurückgehalten und Sauerstoff abgegeben wird. Er beruft sich mit Bezug hierauf auf Untersuchungen von Prießley, Ingenhouß, Woodhouse und de Saussure. An die Entstehung von Aschenbestandtheilen in der Pflanze selbst glaubt er nicht, was daraus hervorgeht, daß er die Angaben von Schrader und Braconnot experimentell zu widerlegen versucht. Dennoch scheint Davy den Aschenbestandtheilen nur eine sehr untergeordnete Bedeutung zuzuschreiben, da nach ihm sogar die Knochen, über deren großen Aschengehalt er ausführliche Analysen mittheilt, nur durch ihre organischen Bestandtheile wirksam werden sollen.

Burger legt seine Ansicht über die Bedeutung des Humus in folgenden Worten dar [3]): „Die Nahrung der Pflanzen besteht größtentheils aus organischen Körpern, die entweder schon an und für

---

1) Abhandlungen der Kgl. Akademie der Wissenschaften in Berlin. 1818, S. 40.

2) Elemente der Agrikulturchemie. Deutsch von Wolff. 1814.

3) Burger, Lehrbuch der Landwirthschaft. Wien 1819. Bd. 1, S. 85.

sich in Wasser auflöslich und zugleich nährend sind oder durch die Fäulniß in diesen Zustand versetzt werden". Außerdem legt Burger aber viel Werth auf die Aschenbestandtheile, zu denen er die folgenden zählt: Schwefel und die Verbindungen der Schwefelsäure mit Laugensalzen oder Erden, die Verbindungen der „Kochsalzsäure" mit Laugensalzen oder Erden, endlich Kalk und Laugensalze selbst. Diese Stoffe gehen nach Burgers Ansicht entweder mit den vegetabilischen Säuren oder mit den Bestandtheilen des Humus Verbindungen ein und werden auf diesem Wege von den Pflanzen aufgenommen. Sie sollen nach ihm nicht bloß reizend auf die Zersetzung des Humus einwirken, sondern er sagt, „daß sie zum Theil ganz als nährend und nur zum Theil als Nahrung vermittelnd angesehen werden müssen"[1]). Daß Burger aber trotzdem dem Humus die größte Bedeutung für die Pflanzenernährung beimißt, beweist folgende Stelle: „. . . . denn da das Erträgniß der Felder bei übrigens gleichen Umständen immer nur in dem Verhältniß größer ist, als dieselben reicher an natürlichem Humus oder stärker gedüngt worden sind ꝛc."[2]).

Ganz ähnliche Ansichten finden sich bei J. N. von Schwerz[3]). Beachtenswerth ist es, daß man bei ihm an der Stelle, wo er hervorhebt, daß die Pflanzen nicht allen Kohlenstoff aus der Luft entnehmen, schon einen Beweis angeführt findet, der später bei Liebig wiederkehrt. Schwerz betont nämlich an dieser Stelle, daß der Wald unmöglich seine gesammte organische Substanz aus dem Humus, der doch nur aus dem Abfall der Blätter entsteht, aufbauen könnte. Auch Schwerz will wie Burger den Aschenbestandtheilen außer der reizenden eine direkt nährende Wirkung zuschreiben. Er verweist in dieser Beziehung darauf, daß der Klee und die Schotenfrüchte mit ihren Wurzeln sonst nicht in Bodenschichten dringen würden, in denen sich kein Humus mehr befindet. Da diese Früchte ferner den Boden nicht nur nicht berauben, sondern sogar bereichern — diese Ansicht hatte man damals — so müssen sie die anorganischen Stoffe nicht weniger gebrauchen als die organischen.

Die beiden letztgenannten Autoren legen schon einen sehr hohen Werth auf den physikalischen Einfluß, den der Humus auf den Boden ausübt. Ich bemerke an dieser Stelle, daß ich auf diese Wirkung der Humuskörper erst am Schlusse meiner historischen Uebersicht, wenn ich auf die landwirthschaftliche Bedeutung des Humus zu sprechen komme, eingehen werde. Dazu halte ich mich um so mehr berechtigt, als die Ansichten, welche wir heute über die in Rede stehende Wirkung des Humus haben, noch im Wesentlichen ganz dieselben sind, wie sie von den älteren landwirthschaftlichen Schriftstellern vertreten werden.

Block steht der Hauptsache nach auf dem Standpunkte von Burger und Schwerz, doch will mir scheinen, daß er auf die Wichtigkeit der Aschenbestandtheile kaum so nachdrücklich hinweist, wie diese[4]).

Man sieht, daß die bisher erwähnten Schriftsteller im großen Ganzen dieselbe Auffassung haben wie Thaer. Es ist dies auch kaum anders zu erwarten. Mit Ausnahme von Davy, dem Zeitgenossen Thaers, sind sie in erster Linie praktische Landwirthe, die sich selber mit naturwissenschaftlichen Untersuchungen nicht beschäftigen konnten. Trotzdem bemerkt man aber, daß sie sich nicht ganz auf dem einseitigen Boden der Thaer'schen Anschauungen bewegten, sie legen vielmehr auf Grund von Erfahrungen, die sie in der Praxis gemacht hatten, den Aschenbestandtheilen eine mehr oder minder große Bedeutung bei. Dasselbe gilt von Koppe in seinem bekannten Werke „Unterricht im Ackerbau und in der Viehzucht" (3. Aufl. 1836).

Im Laufe der Entwickelung der agrikulturchemischen Lehren tritt jetzt ein Mann auf, der den in Rede stehenden Vorgängen experimentell näher zu treten bestrebt ist. Es ist Sprengel, welcher in seinen verschiedenen Werken auf die Ernährung der Pflanzen von neuem eingeht.

---

1) Burger, a. a. O. S. 86.

2) Das. S. 93.

3) Anleitung zum praktischen Ackerbau. Stuttgart und Tübingen 1823. Bd. 1.

4) A. Block, Mittheilungen landwirthschaftlicher Erfahrungen, Ansichten und Grundsätze. Breslau 1830. Bd. 1.

In der 1831 erschienenen „Chemie für Landwirthe" betont Sprengel nachdrücklich, daß die Pflanzen zur Bildung ihrer organischen Substanz die Kohlensäure der Luft verwerthen können. Allerdings legt er auch dem Humus noch eine große Bedeutung bei. So will er z. B. den Grund der üppigen Vegetation der Tropen mit darin suchen, daß der Humus in wärmerem Wasser leichter löslich ist als in kaltem. Neu ist bei Sprengel aber, daß er die hauptsächlichste Wirkung des Humus darin sieht, daß die Humussäuren sich mit den Basen des Bodens zu Salzen verbinden, die dann von den Pflanzen aufgenommen werden. Er sagt [1]): „Alle diese Körper — die Verbindungen der Humussäure mit den Mineralstoffen des Bodens — sind in größerer oder geringerer Menge in Wasser löslich, und hierdurch ist sie — die Humussäure — oft allein diejenige Substanz des Bodens, mittelst welcher sich die Pflanzen mit einigen zu ihrer chemischen Konstitution nöthigen Erden und Oxyden versorgen. Ohne Zweifel wird sie dadurch der Vegetation am allernützlichsten, denn Kohlenstoff können die Pflanzen durch die Blätter aus der Atmosphäre anziehen, und Wasserstoff erhalten sie mittelst des Wassers."

Der Hauptsache nach dieselben Anschauungen vertritt Sprengel in seiner „Bodenkunde" (1837). Dieses Werk ist noch besonders darum beachtenswerth, weil der Verfasser hier den Aschenbestandtheilen auf die Ernährung der Pflanzen einen äußerst wichtigen Einfluß zuschreibt. Dies geht aus folgender Stelle hervor: „Der Boden befindet sich unter einem sehr günstigen Klima, besitzt ein gutes Verhältniß von abschlemmbaren Theilen, enthält sogar oft vielen Humus, hat eine sehr gute Neigung und ist dennoch oft unfruchtbar, weil es ihm nur an einem einzigen Stoffe fehlt, welcher zu den Nahrungsmitteln der Pflanzen gehört" [2]). Fast klingt diese Stelle, wenn auch etwas unklar, wie das berühmte, später von Liebig aufgestellte Gesetz des Minimums! Ferner heißt es in der angezogenen Schrift: „Alle diese Pflanzen — die lange Wurzeln treiben — verlangen, daß, wenn sie gedeihen sollen, der Untergrund eine hinreichende Menge Kali, Natron, Kalk, Talk, Schwefelsäure, Phosphorsäure und Chlor enthalte" [3]).

Nach diesen Aeußerungen ist es ganz unzweifelhaft, daß manche Vorgänge bei der Pflanzenernährung Sprengel in einem bedeutend helleren Lichte erscheinen als seinen Vorgängern. Ja die Arbeiten Sprengels sind es sogar, auf welchen Liebig, als er sein hochbedeutendes Werk schrieb, mit in erster Linie fußen konnte. Wenn trotzdem allgemein mit vollem Rechte Liebig und nicht Sprengel als der Reformator auf diesem Gebiete angesehen wird, so liegt das an der Thatsache, daß Sprengel in seinen Anschauungen noch nicht so weit vorgedrungen war, um mit allen überlieferten Behauptungen brechen zu können, er stand noch ganz bedeutend unter dem Banne der Humustheorie. Noch 1845 erklärt er die Thatsache, daß im Weizen nach Humusdüngung oft mehr Stärkemehl vorkomme, in der Weise, daß den Pflanzen im Humus mehr Kohlenstoff dargeboten würde [4]).

Auf die physikalischen Wirkungen des Humus legte Sprengel ein bedeutendes Gewicht. Auch unterscheidet er bereits verschiedene Arten von Humus und hebt deren ungleichen Werth für den Boden hervor.

Bei Schübler [5]) finden sich vielfach ähnliche Ausführungen wie bei Sprengel. Es scheint mir jedoch aus dem citirten Werke hervorzugehen, daß sich Schübler noch weniger von der Humustheorie losgesagt hat wie Sprengel. Die hauptsächlichste Wirkung der Aschenbestandtheile sieht Schübler darin, daß dieselben die organischen Bestandtheile des Humus löslich machen. Aber selbst die Bedeutung der Mineralstoffe, die wirklich in die Pflanzen übergehen, will Schübler nicht darin

1) Sprengel, a. a. O. S. 310.
2) Sprengel, Bodenkunde S. 303.
3) Daselbst S. 304.
4) Sprengel, die Lehre vom Dünger. 1845.
5) Grundsätze der Agrikulturchemie. 1838.

suchen, daß sie direkt verwendet werden, sondern darin, daß sie wenigstens theilweise reizend auf die Pflanzen wirken. Der Vorgang der Ernährung soll durch die Aufnahme humussaurer Salze vor sich gehen, ganz ebenso, wie Sprengel dies darlegte.

Wie sich Schübler um die Erforschung der physikalischen Eigenschaften des Bodens überhaupt große Verdienste erworben hat, so erkennt er auch die physikalische Wirkung des Humus voll und ganz an. Ich werde in dem folgenden Abschnitte noch Gelegenheit haben, auf die diesbezüglichen Arbeiten Schüblers zurückzukommen.

Ueberblickt man an dieser Stelle, wo ein bedeutendes Ereigniß in die Geschichte des in Rede stehenden Themas eintritt, noch einmal kurz das bisher Abgehandelte, so läßt sich ein allmählicher Fortschritt nicht verkennen. Es macht sich entschieden nach und nach eine weitere Klärung der Ansichten bemerkbar. Mancher der erwähnten Forscher mag vielleicht schon geahnt haben, daß von der alten Humustheorie noch Verschiedenes über Bord geworfen werden müsse. Andererseits konnte sich aber keiner entschließen, mit den seit mehreren Decennien herrschenden Ansichten, die von einer allgemein angesehenen Autorität aufgestellt worden waren, völlig zu brechen, zumal es schien, als ob die praktischen Landwirthe immer von Neuem Bestätigungen hierfür fanden. Es wurde noch viel zu viel Werth auf die praktischen Erfahrungen gelegt, und man war auf diese ja auch vielfach angewiesen, weil die experimentelle Forschung einerseits noch zu wenig ausgebildet war, andererseits wohl auch in größeren Kreisen zu wenig Anerkennung fand. Trotzdem muß betont werden, daß ein nicht unbedeutendes Material durch mühsame Forschungen von verschiedenen Seiten zusammengetragen war. Es lag gewissermaßen im Zuge der Zeit, daß endlich einmal ein Mann auftrat, der mit bedeutender Kombinationsgabe und mit klarem, völlig vorurtheilslosen Blick die vor ihm festgestellten Thatsachen betrachtete, etwaige Lücken ausfüllte und sodann scharfe Konsequenzen hieraus zog. Einen solchen Mann finden wir in Justus von Liebig, dessen 1840 erschienenes Werk „Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie" durch die Schärfe, mit welcher der Verfasser über die alten Ansichten urtheilte, durch die Sicherheit, mit der er neue Theorien aufstellte und zu begründen suchte, allgemeines Aufsehen erregte. Die Geschichte der Landwirthschaft verzeichnet kein einziges Werk, welches einen solchen Sturm für und wider entfesselte, kein einziges, welches den Landwirthen so klar ihre Fehler vor Augen hielt, aber auch kein einziges, welches so bedeutende, für die gesammte Landwirthschaft segensreiche Folgen nach sich gezogen hat. Ich werde versuchen, in dem Nachfolgenden die wesentlichsten Punkte der Liebig'schen Lehre, welche heute noch in ihren Grundzügen als richtig angesehen werden muß, darzulegen.

Liebig sagte mit klaren Worten, daß der Humus in der Form, in welcher er im Boden enthalten ist, zur Erzeugung der Vegetation nicht das Geringste beiträgt. Die Beweise dafür findet er zunächst in der Löslichkeit des Humus. Selbst wenn man annimmt, daß die Humussäuren durch Basen in die Pflanzen übergeführt werden, so muß die Menge der organischen Substanz den Humussäuren äquivalent sein. Man findet aber, daß die Basen längst nicht im Stande sind, die große Menge der organischen Substanz, welche wir in den Pflanzen finden, diesen zuzuführen. Ferner sind die im Boden vorhandenen Wassermengen nicht befähigt, ein solches Quantum Humussäure, wie zur Erzeugung der Vegetation nothwendig wäre, in Lösung zu bringen. Liebig sucht dies an Beispielen, welche Sprengel in seinen Werken giebt, zu erhärten. Es bleibt als Quelle des Kohlenstoffs der Pflanzen nur die Kohlensäure der Luft, und daß diese für den in Rede stehenden Zweck völlig ausreicht, will Liebig ebenfalls in einer direkten Rechnung zeigen. Als Beweise für die Richtigkeit seiner Ansicht führt Liebig dann noch die folgenden Thatsachen an. Der Humus entsteht nach der allgemeinen Ansicht aus den Resten der Pflanzen. Es müssen mithin vor Entstehung des Humus Pflanzen vorhanden gewesen sein, weshalb die Frage entsteht, woher diese den Humus genommen haben.

Dieses von Liebig ins Feld geführte Argument ist meiner Meinung nach ganz besonders beachtenswerth. Allgemein wurde auch damals schon der Humus als ein Produkt verwesender Organismen angesehen und wenn nun der Humus ein unbedingtes Erforderniß des pflanzlichen Lebens sein soll, so muß sich uns unwillkürlich die Frage aufdrängen: Woher bezogen denn die ersten Pflanzen den Humus? Hierauf kann eine Antwort nicht gegeben werden. Schon in den früher aufgeführten Aeußerungen Thaers ist eine reine Unmöglichkeit enthalten. Wenn Thaer sagt, daß der Humus sowohl ein Erzeugniß als auch eine nothwendige Bedingung des Lebens ist, so ist das ganz unhaltbar. Ein Produkt irgend eines Körpers kann unter keinen Umständen gleichzeitig eine unerläßliche Existenzbedingung desselben Körpers sein. Das eine schließt das andere aus. Eine andere Auffassung der ganzen Natur, als die heute herrschende, kann vielleicht der Grund sein, daß man sich an diesen Gedankengang nicht früher schon gestoßen hat.

Liebig führt nun ferner aus, daß die große Menge organischer Substanz, welche sich in den Bäumen eines Waldes findet, unmöglich von dem Humus, der sich auf dem Waldboden abgelagert hat, producirt sein kann; dies umsoweniger, da hier nie eine Zufuhr von Humus stattfindet und der vorhandene durch die Zersetzungsvorgänge eine fortwährende Abnahme erleiden muß. Trotzdem sieht man aber, daß in vielen Fällen die Menge des Humus in einem Walde nicht nur nicht ab, sondern sogar zunimmt. Der Sauerstoff- und Kohlensäuregehalt der Luft bleibt stets ein konstanter, obgleich durch die Athmung der Menschen und Thiere, durch Verbrennung u. s. w. fortwährend eine große Menge Sauerstoff verbraucht und Kohlensäure producirt wird. Man kann sich dies nur erklären, so folgert Liebig, wenn man annimmt, daß durch die Assimilation der Pflanzen beständig Kohlensäure aufgenommen und dafür Sauerstoff abgegeben wird, was denn auch die Untersuchungen von Priestley und Sennebier, namentlich aber die von de Saussure zur Genüge dargethan haben.

Das Liebig'sche Werk beschränkt sich jedoch nicht allein darauf, dem Humus seine Bedeutung als direktes Pflanzennahrungsmittel zu nehmen, sondern es zeigt auch, daß trotzdem dem Humus im Boden eine wichtige Rolle zugeschrieben werden muß. Durch die fortwährende Zersetzung des Humus soll den Pflanzenwurzeln Kohlensäure zugeführt werden, welche wenigstens zeitweise für dieselben von Bedeutung werden kann. — Heute ist allerdings die Anschauung herrschend, daß die Kohlensäure im Boden wesentlich nur indirekt eine Thätigkeit entfaltet, indem sie die Verwitterung unterstützt. — Außerdem, so führt Liebig weiter aus, enthält der Humus als Rückstand der Verwesung sämmtlichen Stickstoff der organischen Substanz, wodurch für die Pflanzen eine wichtige Nahrungsquelle geschaffen wird.

Ganz besonders nachdrücklich weist Liebig auf die Bedeutung der Aschenbestandtheile für die Pflanzen hin. Die Anwesenheit der mineralischen Stoffe im Pflanzenkörper ist keineswegs eine bloß zufällige, sondern die Pflanze kann ohne dieselben nicht bestehen. Wenn gewisse Pflanzen auf einem bestimmten Boden nicht gedeihen, so ist dies nicht auf einen Mangel an Humus, sondern auf ein ungenügendes Vorhandensein der Aschenbestandtheile zurückzuführen. Die reizende Wirkung des Gypses auf die Pflanzen stellt Liebig entschieden in Abrede. Eine Pflanze enthält, wie er sich ausdrückt, keine Nerven und kann daher nicht gereizt werden. Dagegen will er die Wirkung des Kalkes und des Mergels namentlich darin suchen, daß dieselben die mineralischen Nährstoffe des Bodens aufschließen und so für die Pflanzen leichter aufnehmbar machen. Es ist deshalb erklärlich, daß solche Stoffe, wenn nicht rechtzeitig für Ersatz gesorgt wird, den Boden erschöpfen müssen. Ferner betont Liebig, daß alle Pflanzen ohne Unterschied dem Boden gewisse Bestandtheile entziehen und daß keine ihn für eine andere reicher und fruchtbarer machen könne. Auch auf die physikalische Wirkung des Humus wird an einer Stelle hingewiesen.

Leider kann hier auf die anderen ebenso bedeutenden Werke Liebigs nicht eingegangen werden. Man findet in denselben wesentlich die gleichen Anschauungen, wie sie oben dargelegt wurden. Theilweise sind sie nur noch weiter ausgeführt und besser begründet. Bemerkt mag noch werden, daß der weitere Ausbau der Lehren Liebigs zur Aufstellung der allgemein bekannten Mineraltheorie führte.

Man hat Liebig häufig vorgeworfen, daß in seinem so berühmt gewordenen Werke keine eigenen neuen Untersuchungen enthalten seien und daß er eigentlich nur das schärfer hervorgehoben habe, was 9 Jahre vor ihm schon Sprengel sagte. Man muß nun zugeben, daß in der genannten Schrift Liebigs eigene experimentelle Arbeiten fast nicht anzutreffen sind[1]). Ist aber das Verdienst Liebigs um die Landwirthschaft nicht groß genug durch den Umstand, daß er die Arbeiten seiner Vorgänger sammelte und kritisch beleuchtete! Hätte Sprengel in seiner „Chemie für Landwirthe" ein ebenso klares Bild über die bei der Ernährung der Pflanzen sich abspielenden Vorgänge gegeben, so würde er diejenige Stellung in der Geschichte der Landwirthschaft einnehmen, die Liebig jetzt und gewiß mit vollem Rechte inne hat. Daß Sprengel sich aber eine richtige Anschauung noch nicht verschaffen, sich nicht dazu entschließen konnte, mit der landläufigen Ansicht von der Bedeutung des Humus völlig zu brechen, geht deutlich aus den früheren Ausführungen hervor.

Auch die deduktive Methode, welche Liebig für die Entwickelung seiner Ansichten gebrauchte, war dazu angethan, Opposition hervorzurufen[2]). Man muß in der Naturwissenschaft allerdings in der Regel, von dem einzelnen Experiment ausgehend, auf die Allgemeinheit schließen, also die induktive Methode anwenden. Wenn man dies im Alterthum bedacht hätte, so würde man früher zur richtigen Erkenntniß der Naturkörper und Naturgesetze gekommen sein. Daß aber auch die Deduktion auf naturwissenschaftlichem Gebiete zeitweise gute Früchte tragen kann, sieht man aus dem Beispiele Liebigs. Die Thatsachen, die er 1840 ausgesprochen hat, ohne sie alle experimentell begründen zu können, haben sich durch die Untersuchungen der folgenden Zeit wenigstens in ihrer großen Hauptsache als richtig erwiesen. Freilich mußten, wesentlich bedingt durch die Art der Forschungsmethode, auch einige Unrichtigkeiten mit unterlaufen, die richtig zu stellen späteren Forschern und theils auch Liebig selbst vorbehalten blieb. Es ist heute jedoch von einer sehr untergeordneten Bedeutung, wie Liebig zum Aussprechen seiner fundamentalen Sätze kam, mag es genügen, daß er sie aussprach und damit sowohl den Naturwissenschaften als namentlich auch der Landwirthschaft unsterbliche Verdienste leistete.

Daß ein mit so vernichtender Kritik geschriebenes Werk, mochte es die Thatsachen auch noch so klar hinstellen, nicht alle Vertreter der Landwirthschaft und der Naturwissenschaften zu überzeugen vermochte, ist leicht begreiflich. Nicht Wenige sträubten sich gegen diese neue Lehre, weil sie glaubten, mit den bisher gültig gewesenen Theorien völlig auszukommen. Eine ziemlich umfangreiche Literatur entstand, theils um die Liebig'schen Anschauungen zu widerlegen, theils um dieselben zu unterstützen. Es soll jetzt versucht werden, den weiteren Verlauf dieser Angelegenheit zu verfolgen.

---

1) Liebig erkennt dies auch selber an. In der Vorrede seines, Alexander von Humboldt gewidmeten, Werkes sagt er wörtlich: „Das kleine Werk, welches ich mir die Freiheit nehme, Ihnen zu widmen, ich weiß kaum, ob ein Theil davon mir als Eigenthum angehört; wenn ich die Einleitung lese, die Sie vor 42 Jahren zu J. Ingenhouß Schrift „Ueber die Ernährung der Pflanzen" gegeben haben, so scheint es mir immer, als ob ich nur die Ansichten weiter ausgeführt und zu beweisen gesucht hätte, welche der warme, immer treue Freund von Allem, was wahr, schön und erhaben ist, welche der Alles belebende, thätigste Naturforscher dieses Jahrhunderts darin ausgesprochen und begründet hat".

2) So sagt F. G. Schulze (Thaer oder Liebig? 1846, S. 8): „Eine solche Prüfung — auf die Methode — halte ich für die wichtigste, denn die Gefahren, womit einzelne falsche Lehren drohen, sind weit geringer als die Gefahren, welche von der falschen Methode Liebigs zu befürchten sind".

Hlubeck, der bedeutende Statiker, verwickelte sich in eigenartige Widersprüche. Er weist zunächst zahlenmäßig nach, daß in der Kohlensäure der Luft den Pflanzen Material genug für die Ausbildung ihrer organischen Substanz zur Verfügung steht, was er namentlich durch das Wachsthum von Pflanzen auf humus- und kohlenlosem Boden zu erhärten sucht. Dann, sagt er: „die Ansicht der Humusextrakt bilde die Nahrung der Pflanzen, ist lediglich eine Erbsünde der Pflanzenphysiologen und Landwirthe“[1]). Nachdem Hlubeck diesen Satz „als das Ergebniß des gegenwärtigen Standpunktes der Pflanzenchemie und Pflanzenphysiologie“ hingestellt hat, will er „dieses Ergebniß auf dem Probirsteine der Erfahrung prüfen“. Das Resultat dieser Prüfung ist ein wesentlich anderes. Hier faßt Hlubeck seinen Schlußsatz dahin zusammen, daß es nicht nur ein Glaubens-, sondern ein Erfahrungsartikel sei, daß sich die Pflanzen den Humusextrakt aneignen und daß derselbe die eigentliche Nahrung der Gewächse bildet. Er schließt dies aus folgenden Thatsachen. Die Pflanzen gedeihen sehr üppig an Stellen, wo Dünger lag; der lose Flugsand kann durch Begießen mit Jauche fruchtbar gemacht werden; das Ueberdüngen der Saaten mit Gülle hat eine schnelle Wirkung; endlich haben die Versuche, die Pflanzen mit Kohlensäure zu ernähren, einen ungünstigen Erfolg gehabt. Den anorganischen Bestandtheilen will Hlubeck nur eine untergeordnete Rolle zuschreiben. Sie sollen das Skelett der Pflanzen abgeben und die Stütze aller Organe und Erzeugnisse sein, ferner werden die Säuren durch sie neutralisirt, die Aufnahme der Nährstoffe, namentlich die der Humussäure, begünstigt und die Verarbeitung der Säfte beschleunigt. Die Art und Weise der Wirkung denkt sich Hlubeck als eine katalytische.

Es ist interessant, den Ausführungen Hlubecks zu folgen. Man sieht aus denselben, daß alle Untersuchungen, die bis dahin über die Wirkung des Humus gemacht wurden, ihm bekannt sind und auch das Liebig'sche Werk kennt er. Doch er ist der ernste, ruhige Forscher, der eine neue Ansicht, welche an ihn herantritt, trotz ihrer noch so großen Ueberzeugbarkeit nicht ohne Weiteres annimmt. Er stellt die neue Theorie der althergebrachten Erfahrung gegenüber und kommt nach reiflicher Ueberlegung zu dem Schluß, daß der letzteren der Vorzug zu geben sei. Man sieht aber ferner daraus, daß man sich in der Landwirthschaft nicht allein auf die rohe Empirie verlassen darf. Hlubeck hat richtig beobachtet, daß z. B. das Getreide an solchen Stellen, auf denen Dünger lagerte, vorzüglich wächst. Daß aber diese Thatsache sich daraus erklären könnte, daß dem Boden eine große Menge leichtlöslicher Stickstoffsalze und Aschenbestandtheile einverleibt werden, darauf kommt er nicht. Wie wenig Werth er noch auf die Aschenbestandtheile legt, geht aus dem Umstande hervor, daß nach seiner Ansicht die Menge und selbst die Qualität der Aschenbestandtheile lediglich vom Zufalle abhängig ist. Trotzdem giebt er die Unentbehrlichkeit der Anwesenheit von Aschenbestandtheilen überhaupt zu. Ebenso denkt er nicht daran, daß ein Haupttheil der günstigen Wirkung des Humus auf den Boden in dem physikalischen Verhalten desselben zu suchen ist. Hlubeck steht selbst 5 Jahre später[2]) noch auf demselben Standpunkt. Auch in diesem neueren Werke kann er sich nicht entschließen, den Mineralstoffen einen bedeutenden Einfluß auf das Wachsthum der Pflanzen zuzuschreiben.

Im Jahre 1842 veröffentlichte Schweitzer die 2. Auflage von seinem „Lehrbuch der Landwirthschaft“. Aus diesem Werk geht hervor, daß der Verfasser nicht recht weiß, ob er schon den neuen Theorien Liebigs vollen Glauben schenken darf, oder ob er sich noch an die Humustheorie anklammern soll. Daß ihm die letztere etwas starr erscheint, beweist schon die Vorrede zu der (1831 erschienenen) ersten Auflage des Werkes. Schweitzer umgeht diese schon damals etwas schwankende Theorie damit, daß er angiebt, es könne dem Landwirth einerlei sein, auf welche Art und Weise der Dünger wirke, wenn nur die Wirkung selbst ihm bekannt wäre. Diesen Grund kann

---

1) Die Ernährung der Pflanzen und die Statik des Landbaues. 1841. S. 37.

2) Hlubeck, die Landwirthschaft in ihrem ganzen Umfange. 1846.

man als stichhaltig wohl nicht ansehen. Ebenso vermeidet es Schweitzer in der 2. Auflage, sich über den in Rede stehenden Gegenstand näher auszusprechen und zwar dadurch, daß er aus dem Werke Liebigs die diesbezüglichen Sätze wörtlich abdruckt.

Die Thatsache, daß die Kritik wissenschaftlicher Werke nur zu leicht auf das persönliche Gebiet hinübergezogen wird, hat sich auch an Liebig bewahrheitet. Zwei Schriften, die eine von Schleiden[1]), die andere von Mohl[2]) verfaßt, treten als heftige Gegner des Liebig'schen Werkes auf. Die Polemik bleibt aber leider, wie es doch sein sollte, keine sachliche, sondern die Broschüren strotzen von persönlichen, gehässigen und unangenehmen Bemerkungen. Es wäre deshalb ein Fehler, auf diese beiden Schriften hier näher einzugehen.

Eigenthümlich ist es, daß de Saussure, der doch selber auf die Nützlichkeit der Kohlensäure der Luft für das Pflanzenwachsthum so energisch hingewiesen hatte, sich nun auch auf die Seite der Gegner Liebigs stellte. Das Erscheinen des Liebig'schen Werkes veranlaßte de Saussure zu einer Reihe von Untersuchungen[3]), durch die er die Fähigkeit der Pflanzen, den Humus direkt aufzunehmen, darlegen wollte. De Saussure ließ Pferdebohnen in einer Flüssigkeit wachsen, welche durch humussaures Kali dunkelbraun gefärbt war. Es fanden sich nach der Analyse in der Nährflüssigkeit 18 mgr Humus vor. Die Pflanzen hatten nach 6 Tagen eine Gewichtszunahme von 6 gr erlitten. Das aufgenommene Wasser war während des Versuchs stets durch destillirtes ersetzt worden. Trotzdem zeigte sich, daß bei Beendigung des Versuchs die Farbe der Flüssigkeit bedeutend heller geworden war, und die vorgenommene Analyse wies nur 9 mgr Humus nach. Die anderen Versuche, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, wurden in ähnlicher Weise ausgeführt und lieferten ähnliche Resultate. Aus diesen Versuchen hält sich nun de Saussure für berechtigt, den obigen Schluß zu ziehen.

In ähnlicher Weise experimentirten, wie hier gleich erwähnt werden mag, Johnson[4]), Malaguti[5]) und Soubeiran[6]). Alle drei Forscher ziehen aus ihren Versuchen den Schluß, daß der Humus direkt von den Pflanzen aufgenommen werden könne. Man kann diesen Arbeiten aber schon deshalb keine besondere Beachtung schenken, weil die Art und Weise ihrer Durchführung keine unanfechtbare ist. Wenn eine Lösung von Humussubstanzen der Luft ausgesetzt wird, so werden in derselben sich Umsetzungen vollziehen, bei welchen ein Theil des Humus in Kohlensäure übergeht. Dadurch wird dann bei Beendigung des Versuches in der Lösung ein geringeres Quantum an Humus nachweisbar. Bei so kleinen Mengen, wie sie de Saussure anwendete, spielen außerdem die unvermeidlichen Fehler der Analyse schon eine Rolle. Zu den Versuchen von Malaguti und Soubeiran ist ferner noch zu bemerken, daß der Stickstoff, welcher sich in dem verwendeten humussauren Ammoniak befand, wohl die gute Wirkung hervorgebracht hat, welche irrthümlicher Weise der Humussäure zugeschrieben wurde.

Einen wichtigen Beitrag zur Entscheidung der Humusfrage lieferten Wiegmann und Polstorff durch ihre mit großer Sorgfalt ausgeführten Untersuchungen[7]). Die genannten Versuchsansteller brachten Kressesamen in ganz feingeschnittenem Platindraht zur Entwickelung. Die Samen gingen auf und die Pflanzen lebten 26 Tage, in welcher Zeit sie eine Höhe von 2—3 Zoll erreichten. Die Pflanzen wurden dann auf ihren Aschengehalt untersucht und dabei zeigte sich, daß derselbe durch-

---

1) Herr Dr. Justus Liebig in Gießen und die Pflanzenphysiologie. 1842.

2) Dr. Justus Liebigs Verhältniß zur Pflanzenphysiologie. 1843.

3) Vergl. Knop, Kreislauf des Stoffs, Bd. 2, S. 145.

4) Daselbst, Bd. 1, S. 531.

5) Daselbst, Bd. 1, S. 562.

6) Wolff, die naturgesetzlichen Grundlagen des Ackerbaues. 1856.

7) Vergl. Knop, a. a. O., Bd. 1, S. 557.

aus nicht größer war als der der verwendeten Samen. Es war somit durch diese Untersuchungen der unumstößliche Beweis geliefert, daß die Pflanze in ihrem Innern durch vitale Kräfte keine anorganischen Bestandtheile erzeugen kann. Durch Kulturversuche in Sand suchten die erwähnten Experimentatoren ihre Behauptungen noch weiter zu begründen. Nach dieser Richtung hin hatte durch diese Arbeiten die alte Humustheorie nunmehr jede Stütze verloren.

Im Jahre 1842 erschien der 2. Theil des berühmten Werkes von J. H. von Thünen „Der isolirte Staat", durch welches die Landwirthschaftslehre nach der nationalökonomischen Seite unendlich gefördert wurde. Thünen zeichnete sich in dieser Arbeit durch ein eminent logisches Denkvermögen und durch sehr scharfe Begriffsdefinition in höchst vortheilhafter Weise aus. So wesentlich die nationalökonomischen Studien Thünens sowohl für die Volkswirthschafts- wie für die Landwirthschaftslehre geworden sind, so wenig hat Thünen die naturwissenschaftliche Seite vervollkommnet. In dem Kapitel seines Werkes, welches über die Statik des Landbaues handelt, wird auch die Bedeutung des Humus für den Boden dargelegt. Es geht aus diesen Ausführungen hervor, daß Thünen noch vollständig auf dem Boden der Humustheorie steht, weshalb die Wiedergabe seiner diesbezüglichen Ansichten hier keinen Werth haben würde. Wie verworren die Anschauungen Thünens in der an dieser Stelle in Betracht kommenden Richtung waren, mag daraus hervorgehen, daß er annimmt, daß der Boden aus der Luft ein nicht nachweisbares „Humusgas" anzieht. Hierdurch will er den Umstand begründen, daß ein längere Zeit an der Oberfläche liegender roher Untergrund allmählich fruchtbar wird. Die Liebig'sche Theorie von der Entnahme der Kohlensäure aus der Luft sucht Thünen zu widerlegen, doch sind auch diese Gründe heute ohne jedes Interesse.

Auch Boussingault, welcher sich durch so manche exakt ausgeführte naturwissenschaftliche Untersuchung große Verdienste erworben hat, kann sich von der veralteten Ansicht über die Bedeutung des Humus nicht völlig lossagen[1]). Er sucht eine vermittelnde Stellung einzunehmen, indem er zwar zugiebt, daß die Luft die hauptsächlichste Quelle des Kohlenstoffs der Pflanzen ist, andererseits aber doch auch dem Humus in dieser Hinsicht eine große Bedeutung zuschreibt. Boussingault hat verschiedene Thatsachen im praktischen landwirthschaftlichen Betriebe richtig beobachtet, bei dem Suchen nach Gründen für dieselben geräth er jedoch auf Irrwege. Den Einfluß der mineralischen Düngemittel, welchen er keineswegs nur als einen stimulirenden angesehen haben will, schlägt Boussingault sehr hoch an. Er sagt hier sehr bezeichnend, daß in dieser Beziehung die Praxis der Wissenschaft vorausgeeilt sei.

Ein entschiedener Anhänger der neueren Richtung ist Emil Wolff in seinem Werke „Die naturgesetzlichen Grundlagen des Ackerbaues (1856)". Auf S. 46 dieser Schrift sagt der Verfasser: „Mein agrikulturchemisches Glaubens- und Ueberzeugungsbekenntniß lautet dagegen folgendermaßen: Der Humus ist kein direktes Nahrungsmittel für die Kultur- und meisten anderen Pflanzen, aber ein wesentlicher Bestandtheil der Ackerkrume". Es hätte keinen Zweck, an dieser Stelle auf die Ausführungen Wolffs näher einzugehen. Die von ihm vertretenen Ansichten sind im Wesentlichen dieselben, die noch dem heutigen Standpunkte der Wissenschaft entsprechen. Im zweiten Theile dieser Arbeit wird sich daher genügend Gelegenheit finden, dieselben zu berücksichtigen.

Zum Schlusse ist noch eines Forschers zu gedenken, welcher sich um die Feststellung des chemischen Verhaltens der Humuskörper Verdienste erworben hat. Es ist dies der holländische Chemiker Mulder[2]), dessen Werk jedoch einen bedeutend höheren Werth besitzen würde, wenn es nicht mit sehr unangenehmen persönlichen Ausfällen gegen Liebig gespickt wäre. Die positiven

---

1) Die Landwirthschaft in ihren Beziehungen zur Chemie, Physik und Meteorologie. Deutsch von Gräger. 1845. Bd. 2.

2) Die Chemie der Ackerkrume. 1861.

Beweise, welche Mulder für die Richtigkeit der Humustheorie beizubringen sucht, sind sämmtlich unzutreffend. Er weist auf die diesbezüglichen Untersuchungen von de Saussure, Malaguti, Johnson u. s. w. hin, aus welchen sich ergeben haben soll, daß der Humus direkt für das Wachsthum verwerthet wird. Es wurde bereits früher gesagt, daß diesen Untersuchungen wegen ihrer verkehrten Ausführungsweise keine Beweiskraft zugesprochen werden könne. Wenn Mulder dann weiter behauptet, daß man noch niemals Pflanzen ohne Zugabe organischer Substanz gezogen habe, so scheint er die gleich zu besprechenden Resultate der Wasserkulturen übersehen zu haben. Die sämmtlichen Ausführungen Mulders, soweit sie die Humustheorie betreffen, sind überhaupt unhaltbar und haben höchstens einen historischen Werth.

Den definitiven Beweis, daß die Kohlensäure der Luft zur Bildung der organischen Substanz der Pflanzen vollständig ausreicht, haben die Wasserkulturen gebracht. Dieselben wurden schon im vorigen Jahrhundert, namentlich von Duhamel angewandt. Letzterer experimentirte aber noch in sehr unvollkommener Weise, weshalb er auch zu dem Schluß kam, daß die Pflanzen ihre ganze Substanz aus dem Wasser zu bilden vermögen. Um die Vervollkommnung der Wasserkulturversuche haben sich in erster Linie Knop und Julius Sachs wesentliche Verdienste erworben. Das Princip dieser Methode besteht darin, daß man die Pflanzen nach dem Keimen in Wasser, welches mit einer Lösung der Nährsalze versehen wird, setzt. Man hat auf diese Weise die verschiedenartigsten Pflanzen zu durchaus normaler Entwickelung und vollständiger Reife gebracht. Dies bezieht sich nicht nur auf die landwirthschaftlichen Kulturpflanzen, sondern auch auf Bäume (Eichen, Fichten 2c.). Aus derartigen Ergebnissen muß aber mit unumstößlicher Sicherheit gefolgert werden, daß die Pflanzen den Kohlenstoff des Bodens nicht zu ihrer Entwickelung gebrauchen, sondern daß sie mit demjenigen Kohlenstoff, den sie sich durch Zerlegung der Kohlensäure der Luft unter dem Einflusse des Lichtes in ihren Blättern selbst bereiten, vollständig auszukommen vermögen.

Bemerkt mag noch werden, daß man auch aus direkten Berechnungen des Kohlensäuregehaltes der Atmosphäre und des Kohlenstoffbedarfs der Vegetation den Schluß gezogen hat, daß der erstere zur Deckung des letzteren vollständig ausreicht. Derartige Berechnungen können aber immer nur einen sehr relativen Werth beanspruchen, da sie nur auf mehr oder minder sicheren Annahmen basiren. Zudem machen die schönen Resultate der Wasserkulturversuche eine derartige Beweisführung für die in Rede stehende Frage unnöthig.

Wenn somit auch unzweifelhaft feststeht, daß die Pflanzen bei ihrer Ernährung auf die organischen Substanzen des Bodens nicht angewiesen sind, so kann damit doch noch nicht gesagt sein, daß sie überhaupt dieselben nicht aufzunehmen vermögen. Dieser Punkt soll später auf Grund genauer Untersuchungen zur Erörterung kommen.

Nachdem jetzt nach den Werken der bedeutenderen Schriftsteller die ziemlich verschiedenen Ansichten über die Bedeutung des Humus für die Bodenkultur kurz erörtert worden sind, ist darzulegen, welchen Einfluß man auf Grund unserer wissenschaftlichen Forschungen gegenwärtig dem Humus zuzuschreiben geneigt ist.

Die landwirthschaftliche Bedeutung des Humus.

Der Humus entsteht durch Zersetzung der im Boden enthaltenen pflanzlichen und thierischen Stoffe. Die Ursachen für diese Zersetzungsprozesse wollte man bis vor einiger Zeit lediglich auf chemischem und physikalischem Gebiete suchen, während durch die neueren Forschungen, namentlich von Darwin, Hensen und P. E. Müller (Kopenhagen) unzweifelhaft festgestellt ist, daß ein nicht unwesentlicher Beitrag zur Bildung der humosen Massen von Thieren und in erster Linie Regenwürmern ausgeht. Nach den eingehenden Untersuchungen von Müller[1]) scheint es, daß unter den natürlichen Humusformen gerade diejenigen, welche für die Vegetation am werthvollsten sind, nur durch Zuthun der Regenwürmer entstehen, während andere, die einen bedeutend geringern Kulturwerth haben, an Thieren verhältnißmäßig arm sind und Regenwürmer gar nicht aufweisen. Da an dieser Stelle nur die landwirthschaftliche Bedeutung des Humus in Betracht kommt, so kann auf diese hochinteressanten Erscheinungen nicht weiter eingegangen werden.

Zweifellos ist es, daß in dem landwirthschaftlichen Kulturboden eine große Anzahl von Regenwürmern vorkommt. Hensen stellt hierüber Berechnungen an, die allerdings sehr unsicher genannt werden müssen, und kommt zu dem Resultat, daß das Gewicht der im Erdboden lebenden Würmer in der Provinz Posen ein bedeutend größeres sein müsse wie das der Bevölkerung dieses Landstrichs[2]). Unzweifelhaft haben die Regenwürmer wesentlich dazu mitgewirkt, daß in dem Boden eine so innige Mischung zwischen mineralischen und organischen Bestandtheilen besteht. Indem die Würmer sich von organischem Material ernähren, sind sie theils durch die Art ihrer Nahrung, namentlich aber durch ihre eigenartige Lebensweise gezwungen, Erde aufzunehmen, ob diese gleichzeitig als Nahrung dient, steht einstweilen noch dahin. Daß aber Erde aufgenommen wird, wird von keiner Seite bestritten. In dem Verdauungskanal des Regenwurmes wird nun eine innige Mischung der erdigen und organischen Massen bewirkt und dieselben werden dann in diesem Zustande wieder ausgeschieden. Die Thätigkeit der Regenwürmer ist auch noch insofern von Bedeutung, als durch dieselbe die Reste der Vegetation weit schneller eine andere Form annehmen, als das sonst der Fall sein würde.

Man ist wohl stellenweise in der Werthschätzung des Regenwurmes zu weit gegangen, hat man ihn doch geradezu als „ein landwirthschaftliches Nutzthier" bezeichnet und geglaubt, daß seine Verpflanzung in öde Gegenden ein wesentliches Moment sei, eine bessere Kultur in solchen Distrikten zu ermöglichen! Es würde jedoch ein Verkennen aller Forschungsresultate bedeuten, wenn man dem Regenwurm für unseren Boden überhaupt keine Bedeutung beimessen wollte. Die mechanischen Hülfsmittel des Landwirths und die durch dieselben beförderten chemischen und physikalischen Umsetzungsprozesse im Boden würden allein nicht im Stande sein, die organischen Stoffe in so energischer Weise

1) Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin 1887.

2) Thiels landwirthschaftl. Jahrbücher 1882, S. 674.

zu zersetzen und den Humus in so vortheilhafte Mischung mit den mineralischen Bestandtheilen des Bodens zu bringen, wie das mit Hülfe des Regenwurms geschieht. Der Landwirth hat daher allen Grund, diesem kleinen Thiere Beachtung zu schenken, während von wissenschaftlicher Seite nach dieser Richtung hin noch mancher dunkle Punkt aufzuklären bleibt. Namentlich sind hinsichtlich des Ackerlandes weitere Forschungen nöthig; über den Wald haben die erwähnten vorzüglichen Arbeiten Müllers schon wesentliche Klarheit geschaffen. Die Untersuchungen sind auf dem der fortwährenden Thätigkeit des Menschen unterliegenden Ackerboden allerdings viel schwieriger auszuführen wie auf dem mehr in seinem natürlichen Zustande verbleibenden Waldlande. Es ist nicht leicht festzustellen, welche Einflüsse der Thätigkeit der Regenwürmer und welche den Maßnahmen der Kultur, sowie chemischen und physikalischen Prozessen zugeschrieben werden müssen. Einstweilen muß man sich damit zufrieden geben, den landwirthschaftlichen Kulturboden in der vorliegenden Form als ein Endprodukt aller dieser sich gegenseitig unterstützenden Prozesse anzusehen.

Der Gehalt eines Bodens an Humus kann ein sehr wechselnder sein. Die russische Schwarzerde enthält 9—15 %, der gewöhnliche Ackerboden im Durchschnitt 2—5 %. Allerdings kommen Bodenarten vor, deren Humusgehalt unter 0,5 % sinkt. Einen vollständig humusfreien landwirthschaftlichen Kulturboden giebt es nicht. Bei der großen Bedeutung des Humus für den Boden, ist es berechtigt, eine Klassifikation der verschiedenen Bodenarten nach ihrem Humusgehalte vorzunehmen. Ein Schema hierfür stellt Knop[1]) auf. Er bezeichnet Böden mit

0—3 % Humus als humusarm,
3—5 % Humus als humushaltig,
5—10 % Humus als humos,
10—15 % Humus als humusreich,
15 % und mehr als humusüberreich.

Dieser Knop'schen Skala könnte der Vorwurf gemacht werden, daß nach ihr viele selbst sehr fruchtbare Böden noch zu den humusarmen gerechnet werden müssen. Empfehlenswerther würde es vielleicht sein, die Grenze zwischen humusarm und humushaltig etwas weiter nach unten zu verschieben.

Nicht allein die Quantität sondern auch die Qualität des Humus ist für dessen Werth entscheidend. Als Produkte einer langjährigen Erfahrung haben sich hierfür gewisse Bezeichnungen ausgebildet, die zwar keine streng wissenschaftliche Grundlage besitzen, dennoch aber eine gewisse landwirthschaftliche Bedeutung haben, da man aus denselben einen Rückschluß auf den landwirthschaftlichen Werth des Bodens, in welchem eine bestimmte Form des Humus vorkommt, machen kann. Namentlich Schübler hat diese Thatsachen untersucht[2]).

Mild heißt der Humus in den gewöhnlichen fruchtbaren Ackererden, in denen er gut vertheilt sich findet und eine verhältnißmäßig große Löslichkeit besitzt. Da genügend Basen zur Sättigung vorhanden sind, so kann eine saure Reaktion nicht auftreten. Der rohe Humus ist dagegen noch nicht völlig zersetzt. Ein Boden mit stehender Nässe wird unter Hinweis auf die vielen Humuskörper vielfach als sauer bezeichnet, ohne daß deswegen immer eine saure Reaktion aufzutreten braucht. Die letztere ist abhängig von dem Gehalte an Basen. Die schlechte Wirkung eines derartigen Bodens auf die Vegetation ist darin begründet, daß der mangelhafte Zutritt des Sauerstoffes fehlerhafte Zersetzungsvorgänge bedingt. Endlich ist noch der kohlige Humus zu erwähnen. Derselbe ist durch starkes Austrocknen zu Klumpen zusammengeschrumpft. Er besitzt eine dunklere Farbe und ist sehr schwer löslich. Man findet ihn namentlich im trockenen Moor- und Heideboden. Die weiteren von Schübler beschriebenen Humusarten können hier übergangen werden.

---

1) Die Bonitirung der Ackererde. 1871, S. 67.

2) Grundsätze der Agrikulturchemie. 1838, Bd. 2, S. 37.

Bemerkt mag noch werden, daß Müller in seinem erwähnten Werke[1]) zwischen zwei einander direkt entgegengesetzten Humusarten unterscheidet. Müller redet von Mull und von Torf. Der Mull entspricht dem milden Humus; er ist von lockerer Beschaffenheit und frei von Humussäuren und für den Forstmann — auf den Müller zunächst nur Rücksicht nimmt — am günstigsten. Der Torf hingegen ist fest und dicht und bildet eine festgeschlossene Schicht; er entspricht dem obigen kohligen Humus. Die Waldbäume gedeihen auf ihm nur schlecht und sterben mit der Zeit ab. Mit Rücksicht auf die Entstehung nennt Müller den Mull auch wohl koprogenen und den Torf vegetabilischen Humus. Der Mull kann ohne die Thätigkeit der Regenwürmer nicht entstehen; fehlen die letzteren, so bildet sich Torf, niemals aber Mull. Müller, welcher in der Werthschätzung des Regenwurmes sehr besonnen vorgeht, vergleicht den Mull mit einem bearbeiteten, den Torf mit einem nicht bearbeiteten Boden.

Auf die chemische Zusammensetzung des Humus soll hier nur kurz hingewiesen werden. Dieselbe ist zuerst von Mulder[2]) näher untersucht worden. Mulder unterschied im Humus Humin und Huminsäure, Ulmin und Ulminsäure, endlich noch Kren- und Apokrensäure. Nach den neueren Untersuchungen von Detmer[3]) existiren Ulmin und Ulminsäure nicht, sondern sind nur als Modifikationen des Humins resp. der Huminsäure anzusehen. Die Huminsäure ist in Alkalien leicht löslich, das Humin ist in denselben jedoch unlöslich. Kren- und Apokrensäure sind als die höchsten Oxydationsprodukte anzusehen und beide leicht in Wasser löslich. Humin und Huminsäure lösen sich nur in außerordentlich geringen Mengen im Wasser, wenn ihnen auch die Löslichkeit nicht ganz abgesprochen werden darf. Die chemische Zusammensetzung des Humus ist übrigens noch sehr wenig bekannt. Man hat noch keine einzige krystallisirbare Verbindung abgeschieden, und Detmer, der über diese Verhältnisse bisher die exaktesten Untersuchungen anstellte, glaubt, daß im Humus noch manche andere Körper vorkommen würden, deren Menge gering und deren Trennung so schwierig sei, daß man sie bis jetzt nicht habe abscheiden können. Daß es sehr schwer sein muß, über die Zusammensetzung des Humus Klarheit zu bekommen, ist leicht verständlich. Man muß nur bedenken, daß die mannichfachsten Stoffe im Boden der Humifikation unterliegen und daß ferner diese Massen im Boden durch das Fortschreiten der Zersetzungsprozesse einer fortwährenden Veränderung ausgesetzt sind. Hier interessirt nur, daß der Humus bei der Zersetzung relativ immer reicher an Kohlenstoff und Stickstoff wird und daß Kohlensäure, Wasser und Ammoniak als die letzten Produkte seiner Zersetzung anzusehen sind.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen soll dazu übergegangen werden, die Einwirkung des Humus auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens festzustellen. Es wird damit ein Gebiet berührt, welches in neuerer Zeit namentlich durch die eingehenden Untersuchungen von Wollny wesentlich gefördert worden ist. Mit Bezug auf die Arbeiten dieses Forschers soll gleich bemerkt werden, daß dieselben von dem durchaus richtigen Grundsatz ausgehen, die physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Bodenkonstituenten zu ermitteln. Wenn diese bekannt sind, so kann man nach Feststellung der Menge der einzelnen Konstituenten leicht ein Gesammtbild der physikalischen Eigenschaften eines bestimmten Bodens erhalten. Ein derartiger Weg muß unbedingt zu richtigeren Resultaten führen, da zwei landwirthschaftlich gleich bezeichnete Böden dennoch eine wesentlich verschiedene Zusammensetzung zeigen und deshalb auch verschiedene physikalische Eigenschaften besitzen können. Durch das Vorgehen Wollnys macht sich jetzt diese Richtung in der ganzen diesbezüglichen Forschung geltend.

1) Studien über die natürlichen Humusformen.
2) Die Chemie der Ackerkrume. 1861, Bd. 1, S. 308.
3) Landwirthschaftl. Versuchsstationen, XIV, S. 248.

Was zunächst den Einfluß des Humus auf das Gefüge und die Struktur des Bodens anbelangt, so ist klar, daß dieser nach zwei Richtungen thätig sein kann. Ein schwerer Thonboden wird durch eine Beimengung von Humus lockerer und der Bearbeitung leichter zugänglich gemacht, während dagegen ein lockerer Sand fester und dadurch zu einem besseren Standort für die Pflanzen wird. Andererseits ist jedoch auch zu bedenken, daß der Humus die Struktur des Bodens ungünstig beeinflussen kann. Beim Eintrocknen vermindert er, wie schon die Untersuchungen von Schübler[1]) und neuerdings die von Haberlandt[2]) zeigen, sein Volumen unter allen Bodenkonstituenten am meisten. Ferner hebt er sich vermöge seines hohen Wassergehaltes beim Gefrieren und sinkt beim Aufthauen wieder ein. Dadurch ist das Auswintern der Saaten, welches namentlich auf Moorboden zur Geltung kommt, zu erklären. Auf einem fruchtbaren Ackerboden, der nicht zuviel Humus enthält, macht sich dieser Einfluß jedoch nicht in nachtheiliger Weise geltend.

Für das Gedeihen der landwirthschaftlichen Kulturpflanzen ist nicht allein eine bestimmte Lufttemperatur erforderlich, sondern auch der Boden selbst muß einen gewissen Wärmegrad besitzen. Im Allgemeinen ist der letztere von der ersteren zwar abhängig, allein auch die Eigenschaften des Bodens sind hierauf von Einfluß. Dies gilt namentlich von der Farbe des Bodens. Es ist ein allgemeines physikalisches Gesetz, daß sich dunkle Körper besser erwärmen als helle. Daß in dieser Beziehung der Humus durch seine dunkle Farbe den andern Bodenbestandtheilen gegenüber im Vortheil sein muß, leuchtet ohne Weiteres ein. Für die einzelnen Bodenarten ist durch Schübler die Richtigkeit dieser Voraussetzung bereits nachgewiesen[3]). Schübler füllte verschiedene Böden in Kästen und bestreute dann immer den einen Kasten mit Kienruß, den andern mit gebrannter Magnesia. Er fand so beim Humus z. B. Unterschiede von 5,5° zu Gunsten des künstlich geschwärzten Bodens. Ebenso ermittelte er, daß ein schwarzgrauer Humus sich auf 47,37° erwärmte, während ein graugelber Quarzsand zu der gleichen Zeit nur 44,75° zeigte. Die von Schübler angestellten Untersuchungen leiden an dem Fehler, daß die Beobachtungen nur an der Oberfläche und während der Zeit der stärksten Erwärmung gemacht wurden. Wollny[4]) stellte etwas umfassendere Ermittelungen an, indem er die Temperatur 1 dm unter der Oberfläche sowohl während des Tages als auch während der Nacht alle 2 Stunden maß. Auf diese Weise kann ein Bild von der wirklichen Bodenwärme gegeben werden. Es zeigte sich auch bei diesen Versuchen, daß unter sonst gleichen Umständen die Temperatur des dunklen Bodens eine höhere war als die des hellen. Der Unterschied ist während des täglichen Temperaturmaximums am größten, nicht sehr bedeutend aber während des Temperaturminimums. Ein Ackerboden zeigte z. B. aus dem Mittel sämmtlicher Beobachtungen bei künstlicher Färbung:

schwarze Oberfläche	weiße Oberfläche
23,09°.	22,12°.

Wenn so die durch den Humus bedingte dunkle Farbe des Bodens einen günstigen Einfluß auf die Erwärmung hat, so kommen im natürlichen Ackerboden noch andere physikalische Eigenschaften hinzu, die diese Wirkung wieder herunterdrücken. Zunächst ist hier die hohe wasserhaltende Kraft des Humus in Betracht zu ziehen; auf diese soll später näher eingegangen werden. Je mehr Wasser ein Boden enthält, desto mehr verdunstet er auch. Bei jeder Verdunstung wird aber Wärme latent. Dazu kommt, daß nach den Untersuchungen von Eser die Verdunstung seitens des Bodens mit der Zunahme an organischer Substanz steigt. Wenn sich dieser Umstand auch aus der höheren wasserfassenden

1) Grundsätze der Agrikulturchemie, 1838, Bd. 2, S. 83.

2) Fühlings landw. Zeitung, 1875, S. 481.

3) A. a. O. S. 93.

4) Diese und die folgenden Untersuchungen sind, wenn nicht ausdrücklich anders angegeben, entnommen den von Wollny herausgegebenen „Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik", Bd. 1—9.

Kraft der organischen Substanz erklärt, so fand doch Wollny, daß unter sonst gleichen Umständen ein Boden mit dunkler Oberfläche mehr Wasser verdunstet als ein solcher mit heller.

Auch die hohe Wärmekapacität des Humus ist ein weiteres Moment, welches den günstigen Einfluß der Farbe auf die Erwärmung herabmindert. Die specifische Wärme verschiedener Bodenarten stellt sich nach den Untersuchungen von Lang auf das Gewicht bezogen wie folgt (Wasser = 1,0):

Grober Quarzsand	0,198,
Feiner "	0,194,
Quarzpulver	0,209,
Marmorpulver	0,233,
Torf	0,477.

Aus diesen Zahlen ergiebt sich, daß der Humus von allen Bodenkonstituenten hinsichtlich der auf das Gewicht bezogenen Wärmekapacität am ungünstigsten gestellt ist. Liebenberg[1]) hat jedoch neuerdings den Vorschlag gemacht, die specifische Wärme auf das Volumen zu beziehen, da die Pflanzen zu ihrem Gedeihen vielmehr ein bestimmtes Bodenvolumen beanspruchen als ein bestimmtes Gewicht, was als richtig bezeichnet werden muß. In dieser Weise umgerechnet, stellen sich die Lang'schen Zahlen wie folgt:

Quarzsand	0,517,
Marmor	0,582,
Kaolin	0,576,
Torf	0,601.

Bei dieser Rechnungsweise stellt sich für den Humus ein weit günstigeres Verhältniß heraus. Liebenberg nimmt daher an, daß bei unseren Kulturböden in der specifischen Wärme keine großen Schwankungen obwalten, daß wenigstens der Einfluß derselben wesentlich gegen den des Wassers zurücktritt. Das Wasser hat bekanntlich die größte Wärmekapacität und da nun der Humus, wie weiter unten ausgeführt werden soll, eine große wasserhaltende Kraft besitzt, so muß er in diesem Punkte den anderen Bodenarten gegenüber im Nachtheil sein. Diese ungünstige Wirkung wird freilich wieder theilweise dadurch kompensirt, daß ein feuchter Boden immer eine dunklere Farbe besitzt als ein trockner, und daß ferner das Wasser ein besserer Wärmeleiter ist als die anderen Bodenkonstituenten und namentlich der Humus selbst.

Man sieht aus diesen Beobachtungen, daß aus einer einzigen Eigenschaft eines Bodens nicht direkt auf dessen Verhalten in der Natur geschlossen werden kann. Es wirken hier die verschiedensten Umstände mit. Theilweise unterstützen sich die verschiedenen physikalischen Eigenschaften, theilweise bekämpfen sie sich, ja heben sich sogar gegenseitig auf. Wenn die dunkle Farbe des Humus an und für sich einen günstigen Einfluß auf die Erwärmungsfähigkeit des Bodens hat und dieser durch die (infolge der höheren wasserhaltenden Kraft) bessere Wärmeleitungsfähigkeit unterstützt wird, so stehen diesen Umständen andererseits die erhöhte Wärmekapacität und das stärkere Verdunstungsvermögen entgegen. Daß unter solchen Umständen der Einfluß der Farbe vollständig eliminirt werden kann, beweisen folgende Untersuchungen von Wollny. Es betrug die Temperatur im Mittel von 5 Monaten bei

Kalksand	
hellgrau	dunkelbraun (humos)
17,06°.	16,92°.

In diesem Falle besaß der dunkle Boden eine höhere Wasserkapacität und verdunstete deshalb mehr Wasser als der helle, weshalb er sich nicht so stark erwärmen konnte.

1) Habilitationsschrift. Halle 1875.

Fragt man nun, wie diese Umstände im Ackerboden auf einander einwirken werden, so wird es dabei offenbar allein auf die Menge des Humus und die Mischung desselben mit anderen Bodenkonstituenten ankommen. Der Humus wird durch seine dunkle Farbe nur dann günstig auf die Erwärmung des Bodens einwirken, wenn sein Quantum nicht so groß ist, daß die specifische Wärme, die Wärmeleitungsfähigkeit und die größere Wasserverdunstung einen nachtheiligen Einfluß ausüben können. Es liegen leider keine Untersuchungen vor, welche die Menge des Humus, die hierfür noch zulässig ist, angeben, doch ist die Annahme wohl nicht ungerechtfertigt, daß in einem fruchtbaren Weizenboden z. B. die Umstände derartig zusammentreffen, daß von der durch den Humusgehalt bedingten dunklen Farbe ein günstiger Einfluß auf die Erwärmung konstatirt werden kann.

Ueber die Wärmeabsorption und -Emission geben die Untersuchungen von Lang Aufschluß. Aus denselben geht hervor, daß unter sonst gleichen Umständen die Wärmeabsorption bei dunkler Farbe eine größere ist als bei heller, daß aber entgegen der Liebenberg'schen Annahme dasselbe von der Emission gesagt werden muß. Dieses Resultat wird, wie schon oben bei der Farbe erörtert wurde, bei dem in der Natur vorkommenden Humus durch den größeren Wassergehalt des letzteren verändert. Es kann jedoch an dieser Stelle nicht gefolgert werden, daß der Humus durch seinen höheren Wassergehalt schlechthin ungünstig wirkt. Zwar läßt er die Erwärmung nicht so schnell vor sich gehen, dafür verhütet er aber auch große Schwankungen. Sowohl die Absorption wie die Emission der Wärme werden auf diese Weise auf einen gewissen mittleren Grad gebracht. Dieses wird bestätigt durch Untersuchungen von Wollny[1]), nach welchen zur Zeit des Temperaturminimums die nassen Bodenarten die höchste Temperatur besitzen und der Torf von den untersuchten Bodenkonstituenten die gleichmäßigste Temperatur zeigt.

Die letzten Bemerkungen leiten direkt hinüber zur Wärmeleitungsfähigkeit des Humus, über welche in neuerer Zeit Untersuchungen von Pott[2]) und F. Wagner vorliegen. Da die letzteren sorgfältiger ausgeführt sind, so sollen nur diese berücksichtigt werden. Es betrug nach diesen Ermittelungen die Temperatur unter gleichen Umständen bei:

Torf	4,56° C.
Kaolin	4,78° „
Kohlensaurem Kalk .	4,79° „
Eisenoxydhydrat . .	4,82° „
Quarz	5,66° „

Es zeigt sich, daß bei trockener Beschaffenheit der Unterschied kein sehr beträchtlicher ist, wenn auch der Humus in der Skala am niedrigsten steht. Die Differenz ist jedenfalls keine so bedeutende, wie man nach den älteren Untersuchungen allgemein annahm. Die Arbeiten Wagners erstrecken sich ferner auf Böden mit verschiedenem Wassergehalt, wobei sich zeigte, daß die Wärmeleitungsfähigkeit mit der Größe des Wassergehaltes steigt. Bei der Untersuchung natürlicher Bodenarten im Freien fand sich in Uebereinstimmung mit den oben erwähnten Beobachtungen Wollnys, daß der Torf am wenigsten den Temperaturschwankungen nachgab.

Wenn nach den Untersuchungen von Stellwag bei der Kondensation von Wasserdampf seitens des Humus und nach F. Wagner ebenso bei der Zersetzung des Düngers Temperaturerhöhungen stattfinden sollen, so können dieselben bei der großen Masse des Bodens doch keine praktische Bedeutung beanspruchen. Diese Thatsachen sollen hier nur der Vollständigkeit halber angedeutet werden.

Die Beziehungen des Humus zum Wasser wurden schon früher erwähnt; es soll jetzt auf dieselben näher eingegangen werden. Hinsichtlich der Wasserkapacität macht sich neuer-

1) Thiels, Landw. Jahrbüchnr V, S. 441.

2) Landw. Versuchsstationen, XX, S. 273.

dings durch das Vorgehen A. Mayers[1]) das Bestreben geltend, die erhaltenen Werthe ähnlich wie bei der Wärmekapacität und aus dem dort angegebenen Grunde in Volumprozenten auszudrücken, während man sie früher in Gewichtsprozenten anzugeben pflegte. Es leuchtet ein, daß dadurch der Einfluß, welchen das specifische Gewicht der einzelnen Bodenkonstituenten ausübt, ausgeschieden wird. Es wird unten gezeigt werden, daß dies für den Humus von einschneidenster Bedeutung ist. Weiter hat A. Mayer vorgeschlagen, zwischen der kleinsten oder absoluten und der größten oder vollen Wasserkapacität zu unterscheiden. Die letztere wird angestellt in kurzen, die erstere in längeren Erdsäulen. Weil bei Ermittelung der größten Wasserkapacität — diese wurde bei den früheren Untersuchungen gefunden — alle Hohlräume, auch die nicht kapillaren, mit Wasser gefüllt sind, so muß dieselbe höhere Werthe geben, wie kleinste oder absolute, bei welcher diese vollständige Durchtränkung des Bodens nicht vorliegt. Es muß zugegeben werden, daß die letztgenannten Werthe den Verhältnissen, wie sie im natürlichen Boden vorliegen, am nächsten kommen; auch hier sind lange und nicht kurze Bodensäulen vorhanden.

Diese Mayer'schen Forderungen hat Wollny acceptirt und demgemäß eingehende Untersuchungen angestellt. Die größte Wasserkapacität wurde in 5 cm hohen, die kleinste in 1 m hohen cylindrischen Gefäßen bestimmt und zwar erfolgte die Bestimmung der kleinsten Wasserkapacität in einer Höhe der Erdsäule von 90—100 cm, also in der obersten 10 cm mächtigen Schicht. Von dem erhaltenen Zahlenmaterial soll hier nur soviel aufgeführt werden, als zur Charakterisirung des Humus mit Bezug auf das Fassungsvermögen für Wasser nothwendig ist, wobei sowohl die Gewichts- wie die Volumprozente aufgeführt werden sollen.

Bodenart.	Größte Wasserkapacität		Kleinste Wasserkapacität	
	Vol. %	Gew. %	Vol. %	Gew. %
Quarz	37,62	26,09	33,04	19,41
2/3 Quarz + 1/3 Humus . . .	46,19	38,73	40,10	29,66
1/3 Quarz + 2/3 Humus . . .	59,61	80,61	48,85	47,68
Humus	74,59	253,60	55,35	106,52
2/3 Humus + 1/3 Thon . . .	64,92	113,93	55,04	67,89
1/3 Humus + 2/3 Thon . . .	59,45	69,62	53,15	53,22
Thon	58,13	55,91	53,19	45,89

Die großen Unterschiede in der Wasserkapacität nach Volum- und Gewichtsprozenten erklären sich daher, daß der Humus im Verhältniß zu den anderen Bodenbestandtheilen ein niedriges specifisches Gewicht besitzt (s. später). Während die größte Wasserkapacität dem Gewichte nach beim Humus etwa 10 Mal so groß ist wie beim Quarz, beträgt dieselbe, auf das Volumen bezogen, nur etwa das Doppelte. Ueberhaupt werden die Differenzen in der wasserhaltenden Kraft verschiedener Bodenarten durch die Einführung der Rechnung nach Volumen, ähnlich wie bei der Wärmekapacität, sehr klein und meines Erachtens so gering, daß die thatsächlichen Unterschiede, welche sich praktisch jederzeit ohne Weiteres wahrnehmen lassen, nicht mehr genügend zum Ausdruck kommen.

Immerhin ist aber auch aus den Volumprozentzahlen ersichtlich, daß der Humus hinsichtlich der Wasserkapacität an erster Stelle steht. Die wasserhaltende Kraft ist eine so große, daß bei reinem Humus-(Torf-)Boden die Feuchtigkeit eine zu beträchtliche ist, und auch beim Thonboden kann, wenn dem nicht entgegengewirkt wird, der Humus die Feuchtigkeitsverhältnisse in einer für die Vege-

---

3) Landwirthschaftliche Jahrbücher, 1874, S. 753.

tation ungünstigen Weise beeinflussen. Auf einem von Natur etwas trockenen Boden wird dagegen die Zufuhr von Humus oder humusbildenden Stoffen (z. B. Dünger) die Wasserkapacität in vortheilhafter Weise erhöhen.

Zu erwähnen ist noch, daß nach den Ermittelungen von Wollny der Frost bei allen zur Krümelbildung neigenden feinkörnigen, thon- und humusreichen Bodenarten die Beschaffenheit des Erdreiches dauernd derartig verändert, daß die Wasserkapacität eine geringere wird. Dieser Einfluß wird beim Humus noch dadurch verstärkt, daß der Frost diese Wirkung namentlich bei großem Wassergehalt des Bodens äußert. Wollny will diese Thatsache in der Weise erklären, daß er annimmt, es müßten durch den Frost im Boden Molekularveränderung vor sich gehen, welche die Bildung von Aggregaten veranlassen. Dadurch sollen dann im Boden größere Hohlräume entstehen, die nicht mehr kapillar thätig sein können und so die Wasserkapacität herunterdrücken. Von Belang würde dieser Umstand wohl nur da sein, wo, durch hohen Thon- und Humusgehalt des Bodens veranlaßt, die Feuchtigkeit in zu starkem Grade vertreten ist.

Die Beziehungen zwischen Wasserkapacität, Verdunstungsvermögen, Wärmeleitung und Farbe wurden bereits früher hervorgehoben. Hinsichtlich des Verdunstungsvermögens sei hier noch bemerkt, daß nach übereinstimmenden Versuchen von Neßler und Liebenberg der Boden in seiner Gesammtmasse um so weniger Wasser verdunstet, je lockerer seine oberste Schicht ist, weil dann die Kapillarröhren unterbrochen werden und damit die Fortleitung des Wassers nach der Oberfläche sich vermindert. Ferner erwärmt sich nach Wollny ein Boden um so stärker, jemehr seine Oberfläche abgetrocknet ist, was mit den früheren Ausführungen über die Wärmekapacität im Einklang steht. Ich erwähne diese beiden Thatsachen hier nicht sowohl wegen ihrer allgemeinen Wichtigkeit als vielmehr deshalb, weil sie meines Erachtens den Einfluß, welchen die Farbe des Humus auf die Erwärmung des Bodens ausübt, reiner zur Geltung gelangen lassen.

Ueber die kapillare Leitung des Wassers seitens des Humus geben u. a. die Versuche von v. Klenze[1]) Aufschluß. Es sollen hier nur die Resultate mitgetheilt werden, welche sich auf die Leitungsfähigkeit künstlicher Gemische von Quarz und Torf einer- und von Kaolin und Torf andererseits beziehen. Dieselben wurden in 3,5 cm weiten und 1 m langen Röhren ausgeführt. Es stellte sich dabei Folgendes heraus:

Zusammensetzung des Gemisches:	das Wasser stieg in der Zeit vom 16. März bis 18. April:
25 % Quarz + 75 % Torf	29,5 cm
75 „ Quarz + 25 „ Torf	33,7 „
25 „ Kaolin + 75 „ Torf	38,5 „
75 „ Kaolin + 25 „ Torf	55,3 „

Es zeigte sich bei diesen Untersuchungen in Uebereinstimmung mit denen von Wollny, daß der Humus mit Bezug auf die kapillare Leitung des Wassers im Boden in der Mitte zwischen Quarz und Thon steht. Die Abwärtsbewegung des Wassers wird dagegen nach Wollny umsomehr verlangsamt, jemehr Humus im Boden enthalten ist. Die Ursache für diese Thatsache ist wohl in der Imbibitionsfähigkeit des Humus zu suchen. Für die Praxis wird die dem Thon gegenüber schlechtere kapillare Leitung des Wassers durch den Humus kaum in Frage kommen, weil dieselbe durch die größere Wasserkapacität mehr wie ausgeglichen wird.

Das specifische Gewicht des Bodens ist praktisch zwar von keiner Bedeutung, die landläufigen Begriffe schwerer und leichter Boden hängen bekanntlich mit den Strukturverhältnissen des Bodens zusammen. Trotzdem ist es der Vollständigkeit und der wissenschaftlichen Bedeutung halber

1) Thiels Landw. Jahrbücher, VII, S. 83.

doch von Interesse, das specifische Gewicht wie auch das Volumgewicht der einzelnen Bodenbestandtheile zu kennen, und an dieser Stelle kommt es namentlich darauf an, den Einfluß des Humus in dieser Beziehung kennen zu lernen. Beide Gewichte sind nicht mit einander zu verwechseln. Beim specifischen Gewicht wird nur Rücksicht genommen auf das Volumen einer bestimmten Bodenmasse, ohne die zwischen den einzelnen Theilchen befindlichen mit Luft oder Wasser gefüllten Hohlräume in Betracht zu ziehen, während bei dem Volumgewicht der Raum in Anrechnung kommt, welchen der Boden incl. der in ihm befindlichen Lücken einnimmt. Die neuesten und vollständigsten Untersuchungen über Volum- und specifisches Gewicht sind Wollny zu verdanken. Danach stellten sich die in Rede stehenden Werthe bei verschiedenen Bodenkonstituenten wie folgt:

	Volumgewicht.	Specifisches Gewicht.
Quarz	1,4485	2,622
$^2/_3$ Quarz + $^1/_3$ Humus	1,1108	2,453
$^1/_3$ Quarz + $^2/_3$ Humus	0,7116	2,287
Humus	0,3349	1,462
$^2/_3$ Humus + $^1/_3$ Thon	0,5394	1,931
$^1/_3$ Humus + $^2/_3$ Thon	0,8386	2,279
Thon	1,0108	2,503

Aus diesen Zahlenangaben ergiebt sich in Uebereinstimmung mit den Versuchen anderer Autoren, daß der Humus unter den verschiedenen Bodenbestandtheilen das geringste specifische wie auch Volumgewicht besitzt, und daß bei den anderen in Frage kommenden Bodenbestandtheilen erhebliche Differenzen nicht obwalten. Das specifische und ebenso das Volumgewicht eines gewissen Bodens wird also der Hauptsache nach durch den Gehalt desselben an Humus bestimmt, und Schwankungen im Humusgehalte sind an dieser Stelle fast allein von Einfluß.

Es ist nun die Kondensationsfähigkeit des Humus für Gase zu besprechen. Ob dieser Vorgang noch als ein nur physikalischer angesehen werden kann, ist wohl mindestens fraglich. Die von Stellwag gemachte Beobachtung, daß bei der Kondensation von Wasserdampf seitens des Humus Erwärmung auftritt, berechtigt vielmehr zu dem Schluß, daß hier außer der physikalischen Anziehung noch chemische Kräfte mitwirken. Die neuesten Untersuchungen über die in Rede stehende Eigenschaft des Bodens sind von Ammon ausgeführt worden. Derselbe untersuchte die Absorptionsfähigkeit verschiedener Bodenkonstituenten für Wassergas und Ammoniak, ferner für Kohlensäure, Grubengas u. s. w. Es soll hier nur auf die beiden ersteren Rücksicht genommen werden. Ammon fand, daß, abgesehen vom Eisenoxydhydrat, der Humus die größte Absorptionsfähigkeit für Gase besitzt. Folgende Zahlen mögen diese Behauptung beweisen. Es absorbirten bei 10° C. 100 cbcm Substanz cbcm Gas:

	Humus.	Quarzpulver.	Kaolin.
Wassergas	36 504,43	1 185,350	6 447,67
Ammoniak	22 930,30	1 071,606	2 165,38

Es stellte sich bei diesen Untersuchungen ferner heraus, daß eine höhere Temperatur die Absorption begünstigt. Ueber die praktische Bedeutung dieser Eigenschaft des Humus ist man verschiedener Ansicht gewesen. Während man früher zu der Anschauung neigte, daß das Kondensationsvermögen des Bodens für Wassergas hohen praktischen Werth besitze, indem es im Stande sei, die Pflanzen vor dem Welken und somit vor dem Untergange zu schützen, haben neuere Untersuchungen von A. Mayer, Liebenberg und Heinrich gezeigt, daß diese Meinung eine irrige war. Das Kondensationsvermögen des Bodens macht sich erst dann geltend, wenn die Pflanzen schon längst wegen Trockenheit zu Grunde gegangen sind. Immerhin dürfte dem Kondensationsvermögen aber die Bedeutung beizumessen sein, daß durch dasselbe in den oberen Bodenschichten Wasser gebildet wird,

wodurch kleinere oder größere Quantitäten des im Boden und namentlich im Untergrunde schon enthaltenen Wassers vor dem Verdunsten geschützt werden. Diese Eigenschaft hätte so einen gewissen indirekten Werth, welcher sich einstweilen aber noch nicht zahlenmäßig angeben läßt.

Von einer großen landwirthschaftlichen Bedeutung ist dagegen die Absorption des Ammoniakgases durch den Humus. Dieselbe ist außer durch Ammon schon durch verschiedene andere Forscher nachgewiesen, so wollte Bretschneider[1]) bei seinen Untersuchungen mit steigendem Ulmingehalt eine Steigerung der Ammoniakabsorption gefunden haben. Nach den Ermittelungen von Orth[2]) wurde die Absorptionsfähigkeit des Humus für Ammoniak nur vom Lehm des Geschiebemergels übertroffen. Ebenfalls fand Detmer eine Absorption von gasförmigem Ammoniak durch Torf[3]). Diese ganz sicher festgestellte Fähigkeit des Humus bereichert mithin den Boden an dem landwirthschaftlich werthvollsten Nährstoff.

Man hat sich mit diesen Thatsachen nicht immer begnügt, sondern verschiedene Versuchsansteller sind so weit gegangen, dem Humus eine Ueberführung des freien Stickstoffs der atmosphärischen Luft in gebundene Form zuzuschreiben. Die betreffenden Experimente haben sich durch andere kontrolirende Arbeiten aber immer als falsch herausgestellt. Neuerdings ist diese „Stickstofffrage", welche so lange Zeit Chemiker und Pflanzenphysiologen beschäftigt hat, wieder in ein neues Stadium getreten. Man hatte bisher auf Grund der sehr genauen Boussingault'schen Untersuchungen immer geleugnet, daß die Pflanzen überhaupt im Stande seien, den freien atmosphärischen Stickstoff irgendwie zu verwerthen. Durch die neuesten Arbeiten muß es aber als ziemlich zweifellos hingestellt werden, daß thatsächlich gewisse Kulturpflanzen (Hülsenfrüchte) unter Mitwirkung von Mikroorganismen den freien Stickstoff in gebundene Form überzuführen und ihn dann aufzunehmen vermögen. Da diese Umwandlung nur durch die Thätigkeit kleinster Lebewesen stattfinden kann, so gehört eine diesbezügliche Erörterung nicht in den Rahmen einer Arbeit, welche sich nur mit dem Humus zu beschäftigen hat.

Schon hinsichtlich der Absorption des Humus für Gase ist es fraglich, ob diese Eigenthümlichkeit sich auf rein physikalischem Wege durch Flächenattraktion erklären läßt. Entschieden zu den chemischen Eigenschaften des Humus gehören aber diejenigen, welche nun noch einer Besprechung zu unterziehen sind.

Hierher rechnet zunächst der Gehalt der Bodenluft an Kohlensäure. Während die atmosphärische Luft auf 10000 Theile durchschnittlich 4—5 Theile Kohlensäure enthält, finden sich in der Bodenluft bedeutend größere Mengen dieses Gases vor. Schon Boussingault stellte hierüber Untersuchungen an[4]). Er fand in 10000 Theilen der Bodenluft an Kohlensäure:

Sandboden, frisch gedüngt	217 Thl.
Derselbe, kurz nach Regen	974 „
Derselbe, lange vorher gedüngt . . .	93 „
Sandboden, „ „ „ . . .	74 „
Derselbe, frisch gedüngt	85 „
Derselbe, vor 8 Tagen gedüngt . . .	154 „
Fruchtbarer feuchter Wiesenboden . .	179 „

Das Mehr an Kohlensäure, welches sich nach diesen Analysen in der Bodenluft befindet, muß auf Kosten der humosen Bestandtheile entstanden sein, indem dieselben bei ihrer Zersetzung immer neue Mengen dieses Gases liefern. Allerdings ist nach den neuesten Untersuchungen Wollnys die

1) Der Landwirth, 8. Jahrgang, S. 50.

2) Jahresbericht für Agrikulturchemie. 1877, S. 32.

3) Versuchsstationen, XIV, S. 285.

4) Liebig, die Chemie in ihrer Anwendung ꝛc. 9. Aufl. 1876. S. 22.

Menge der im Boden enthaltenen freien Kohlensäure kein direkter Maßstab weder für die Menge der vorhandenen organischen Stoffe noch für die Zersetzungsintensität derselben, weil hierauf die physikalischen Eigenschaften des Bodens einen wesentlichen Einfluß haben. Unter sonst gleichen Umständen hat aber jedenfalls der humusreichste Boden den größten Gehalt an Kohlensäure und diese Bedeutung der humosen Stoffe darf nicht unterschätzt werden. Die Kohlensäure ist auch im Boden für die Vegetation ein außerordentlich wichtiger Körper, weil sie durch Beförderung der Verwitterung immer neue Mengen mineralischer Nährstoffe in Lösung bringt. Namentlich sind es die Silikate, in erster Linie die wasserhaltigen Zeolithe, die zersetzt werden und dabei Kali in Freiheit gelangen lassen. Auch auf die dreibasischen Phosphate des Bodens ist die Kohlensäure von Einfluß. Dieselben können entweder im Boden als natürliche Mineralien oder als durch Absorption in den dreibasischen Zustand übergeführte Phosphate vorkommen. Die Wirkung der Kohlensäure ist in beiden Fällen die gleiche. Nach Eichhorn[1]) kann freie Humussäure in ähnlicher Weise wirksam werden, indem sich saurer humussaurer Kalk und saurer phosphorsaurer Kalk im Boden bildet. Ob diese Wirkung im gewöhnlichen Ackerboden jedoch von besonderer Bedeutung sein wird, ist mindestens fraglich, weil freie Humussäure hier entweder gar nicht oder doch nur in ganz geringen Mengen vorkommt. Vielleicht kann aber durch im Boden stattfindende chemische Umsetzungen Humussäure frei werden und sich dann in der angedeuteten Weise geltend machen.

Nach Simon[2]) soll der Humus unter Bildung einer löslichen Verbindung mit Phosphorsäure die letztere in Lösung überführen, was dadurch um so wichtiger werden sollte, daß die so entstandene Verbindung im Gegensatz zu anderen Humusstoffen befähigt wäre, durch pflanzliche Membranen hindurch zu diffundiren. Eichhorn kann aus seinen Versuchen diese Ansicht nicht theilen und gegen die letztere sprechen auch die weiter unten dargelegten Forschungen von Grandeau.

Von einer ganz besonderen Wichtigkeit ist der Einfluß, den der Humus auf die Absorption gelöster Substanzen ausübt. Aus verschiedenen Versuchen geht hervor, daß eine mineralstofffreie Humussubstanz für die Absorption eine geringe Bedeutung hat. Nach A. König[3]) findet hier nur insofern eine Absorption statt, als aus alkalischen Lösungen das Alkali wesentlich auf physikalischem Wege festgehalten wird, während eine chemische Absorption nur in höchst geringem Grade stattfindet. Säuren werden vom aschefreien Humus nicht absorbirt und dasselbe gilt von den Basen, sofern sie in neutraler Lösung vorliegen. Schon die Untersuchungen von Bemmelen[4]) zeigten, daß sich nicht die Gesammtmasse des Humus an der Absorption betheiligt, sondern nur die humussauren Salze, unter welchen nach Eichhorn[5]) der humussaure Kalk das wichtigste ist. König hat im großen Ganzen dieselben Resultate erhalten. Die sich hier abspielenden Absorptionsvorgänge finden auf chemischem Wege statt. Praktisch ist dieser Umstand von einer sehr großen Bedeutung. Völlig aschefreie humose Medien kommen in der Natur überhaupt nicht vor und in den gewöhnlichen Ackererden finden sich im Vergleich zu den großen Mengen an Mineralstoffen nur geringe Quantitäten von Humus. Hier werden mithin die humussauren Salze eine sehr werthvolle Thätigkeit entfalten können.

Eichhorn giebt an, daß der humussaure Kalk mit den Alkalien unter theilweiser Abgabe seines Kalkes ein schwerlösliches humussaures Doppelsatz bildet. Aus seinen Versuchen und auf Grund theoretischer Erwägungen kommt Detmer[6]) bezüglich des huminsauren Kalk-Ammoniaks zu demselben Resultat. Das letztgenannte Salz setzt sich allerdings, wenn es mit einer Lösung von kohlensaurem

1) Jahresbericht für Agrikulturchemie. 1875/76, S. 45.
2) Fühlings landw. Zeitung. 1875, S. 440.
3) Landw. Jahrbücher, XI, S. 1 ff.
4) Jahresbericht für Agrikulturchemie. 1875/76, S. 45.
5) Daselbst 1878, S. 36.
6) Die natürlichen Humuskörper des Bodens. Leipzig 1871.

Ammoniak zusammentrifft, in huminsaures Ammoniak und kohlensauren Kalk um. Kommt das huminsaure Ammoniak darauf mit einer größeren Menge eines Kalksalzes in Berührung, so wird wieder die oben genannte Doppelverbindung niedergeschlagen, wodurch dann von Neuem eine gewisse Menge Ammoniak vor dem Auswaschen geschützt ist. Aus diesen Versuchsergebnissen läßt sich entnehmen, daß die humussauren Verbindungen bei der Absorption der Alkalien im Boden eine wichtige Rolle spielen. Aber auch für die Phosphorsäure macht sich nach den Untersuchungen von Eichhorn[1]) eine ähnliche Erscheinung bemerkbar. Eichhorn stellte mit verschiedenen Bodenarten resp. Bodenkonstituenten Versuche an, die ermitteln sollten, wie viel Phosphorsäure eines Superphosphates durch Absorption in dreibasisch phosphorsauren Kalk übergeführt wird. Es zeigte sich, daß in 24 Stunden in Gewichtsprozenten absorbirt wurden durch

Stilbit	0,427,
Kaolin	0,204,
humosen Boden . . .	0,504,
Humussäure	0,000,
Lehm	0,194,
kohlensauren Kalk . .	1,650,
humussauren Kalk . .	4,015.

Die Absorption der Phosphorsäure, welche für den Pflanzenbau von so eminenter Wichtigkeit ist, zeigt sich also am stärksten beim humussauren Kalk, welcher in jedem Ackerboden sich findet. Der Vorgang selbst gestaltet sich in der Weise, daß die Phosphorsäure als die stärkere Säure den Kalk des humussauren Kalks an sich zieht. Auch König konstatirte in seiner erwähnten Arbeit eine Absorption von Phosphorsäure durch den Moorboden, welche nur von den beigemengten mineralischen Bestandtheilen ausging und mit der Menge der letzteren wuchs.

Die bei dieser Absorption frei werdende Humussäure verbindet sich mit dem Kalk des Calciumcarbonats zu humussaurem Kalk, wobei Kohlensäure ausgeschieden wird, ein neues Moment, welches die Zersetzung der Bodenbestandtheile zu befördern im Stande ist.

Man erhält an dieser Stelle einen schönen Einblick in die Bedeutung der chemischen Umsetzungen im Boden. Man sieht, wie durch die eine Umsetzung gleich eine andere veranlaßt wird, die dann ihrerseits wieder neue chemische Prozesse zu bedingen vermag. Der Humus aber muß wegen der Wichtigkeit der Absorptionsfähigkeit für die Pflanzenkultur dadurch, daß er sowohl Phosphorsäure und Kali, als auch Ammoniak absorbiren kann, als ganz besonders werthvoll erscheinen.

Mit den vorstehenden Erörterungen ist der Einfluß, den der Humus nach dem heutigen Stande unserer Kenntnisse auf den Boden ausübt, nach allen Seiten kurz beleuchtet. Es darf jedoch nicht weiter gegangen werden, ehe nicht die eigenartigen Ansichten des französischen Chemikers Grandeau berührt worden sind. Wenn sich die Resultate der Grandeau'schen Arbeiten thatsächlich als richtig herausgestellt hätten, so wären sie für die Erklärung der Vorgänge, welche sich bei der Pflanzenernährung abspielen, von fundamentaler Bedeutung. Eine kurze Darlegung der eigenthümlichen Anschauungen mag hier folgen[2]).

Grandeau stellte seine Untersuchungen in der Weise an, daß er die zu untersuchenden Bodenarten zunächst mit verdünnter Salzsäure behandelte, um die Verbindungen der Humussäure mit Kalk und Magnesia zu zerstören. Der Rückstand wurde mit Ammoniak ausgezogen. Er erhielt dabei eine Substanz in Lösung, welche er als „matière noire" bezeichnet Dieselbe enthält außer den Humusstoffen alle Aschenbestandtheile, welche die Pflanze zum Aufbau ihres Organismus gebraucht. Man

1) Landw. Jahrbücher, Bd. 4.

2) Vergl. Pitsch, landw. Jahrbücher 1879, S. 677.

kann diese matière noire deshalb organo-mineralische Substanz nennen. Grandeau weist besonders darauf hin, daß die Menge der organo-mineralischen Substanz keineswegs proportional dem Humusgehalt ist, sondern vielmehr im direkten Verhältnisse zur Fruchtbarkeit des Bodens steht. was durch mitgetheilte Analysen bestätigt wird. Bei Diffusionsversuchen fand sich, daß die sämmtlichen in der matière noire enthaltenen Aschenbestandtheile diffusibel sind, während die daneben vorkommenden organischen Stoffe das Pergamentpapier nicht zu durchdringen vermochten. Ferner ermittelte Grandeau, daß die Absorptionsfähigkeit eines Bodens wesentlich von dessen Gehalt an organo-mineralischer Substanz abhängig ist. Endlich zieht Grandeau aus vorgenommenen Vegetationsversuchen in Verbindung mit den Diffusionserscheinungen den Schluß, daß die matière noire die Vermittlerin des Ueberganges der Pflanzennahrungsmittel aus dem Boden in die Pflanze darstelle, wobei jedoch nur die mineralischen Bestandtheile, nicht auch die organischen Stoffe in die Pflanze überzugehen vermögen. Als Konsequenz aus diesen Ergebnissen folgt dann, daß der Gehalt eines Bodens an organo-mineralischer Substanz einen Maßstab für die Fruchtbarkeit desselben darstellt.

Wenn diese Theorie als wirklich richtig bezeichnet werden könnte, so wäre damit nicht allein ein wichtiges Moment für die Erklärung der bei der Pflanzenernährung sich abspielenden Prozesse gewonnen, sondern auch die chemische Bodenanalyse wesentlich gefördert. Bekanntlich ist die letztere noch nicht so weit gelangt, praktisch verwerthbar zu sein, weil sie zwar die Gesammtmenge der in einem Boden vorhandenen Nährstoffe angiebt, nicht aber auch deren Form und Löslichkeit, worin ihre praktische Bedeutung zu suchen ist. Durch die Grandeau'sche Theorie wäre ein Mittel gegeben, diesem Mangel abzuhelfen. Bei der Wichtigkeit dieser Thatsache ist es ganz selbstverständlich, daß sich auch andere Forscher mit derselben beschäftigt haben.

Pitsch[1]), welcher die in Rede stehende Theorie vom rein objektiven Standpunkt aus betrachtet, kommt zu dem Schluß, daß die Grandeau'sche Methode die chemische Bodenanalyse zwar nicht ersetzt, vielleicht aber unter bestimmten Verhältnissen als Anhang derselben Beachtung verdient. Grandeau macht entschieden zu kühne Schlüsse. Wenn er durch Vegetationsversuche darlegt, daß die matière noire im Stande ist, Pflanzen vollständig zu ernähren, so ist damit nur diese Thatsache bewiesen, nicht aber auch, daß die Pflanzen in der Natur wirklich ihre Nahrung aus einer derartigen Verbindung aufnehmen. Es sind die leicht löslichen Nährstoffe des Bodens, welche die Fruchtbarkeit desselben bedingen, und diese hat Grandeau durch Behandlung mit Salzsäure und Ammoniak entfernt. Daraus erklärt sich denn ganz von selbst, daß ein Boden, welcher seiner organo-mineralischen Substanz beraubt ist, sehr wenig fruchtbar sein kann. Dasselbe gilt von der Absorptionsfähigkeit des Bodens, wenn man die früher erwähnten Versuche von Eichhorn berücksichtigt. Pitsch zieht daher den durchaus richtigen Schluß, daß die Grandeau'sche Theorie zwar nicht direkt widerlegt, aber auch durch keine Thatsachen bewiesen sei, da man die in Rede stehenden Verhältnisse ebensogut auf andere Weise erklären könne. Auch Tuxen wollte es mit Hülfe der Grandeau'schen Methode nicht gelingen, die Fruchtbarkeit eines Erdbodens zu bestimmen. Er fand, daß sich dieselbe nicht mit der praktischen Erfahrung deckt[2]).

Selbst wenn sich auch die Grandeau'sche Theorie als irrthümlich herausstellt, so haben doch die vorhergehenden Erörterungen über den Einfluß des Humus auf den Boden in physikalischer und chemischer Hinsicht zur Genüge dargethan, daß die humosen Bestandtheile als sehr wichtige Bodenkonstituenten anzusehen sind. Man kann mit Bezug auf die physikalischen Eigenschaften den Humus so recht als einen Regulator bezeichnen. Es braucht nur erinnert zu werden an seinen Einfluß auf die Struktur, die wasserhaltende Kraft, die Erwärmung des Bodens u. s. w., ferner an die bedeutende

1) Landw. Versuchsstationen, XXVI, S. 1 ff.

2) Daselbst XXVII, S. 114.

Einwirkung auf die Absorption gasförmiger und flüssiger Körper und auf den Gehalt des Bodens an Gasen.

Bei den vorstehenden Ausführungen ist immer in erster Linie ein Boden in Betracht gezogen, welcher im Verhältniß zu den anderen Bodenbestandtheilen den Humus in einer richtigen Menge enthält, der Schluß, daß ein beliebiges Quantum humoser Stoffe den Boden ebenfalls in günstiger Weise beeinflussen müsse, wäre ein durchaus falscher. Im Gegentheil wirkt ein Uebermaß von Humus direkt schädlich. Hierauf muß noch in aller Kürze eingegangen werden.

Der Moorboden läßt am besten die nachtheiligen Einwirkungen eines zu großen Humusgehaltes erkennen. Die große Wasserkapacität macht sich hier in höchst unliebsamer Weise geltend. Dieselbe kompensirt zunächst durch die in hohem Maße auftretende Verdunstungskälte vollständig den günstigen Einfluß der Farbe auf die Erwärmung, sodaß ein solcher Boden immer kalt ist. Ferner machen sich durch die große Nässe Zersetzungsvorgänge geltend, welche den landwirthschaftlichen Kulturpflanzen direkt schädlich sind. Zwar findet sich, selbst auf einem sehr nassen Boden eine üppige Flora; die letztere besteht aber der Hauptsache nach aus Cyperaceen, Equisetaceen, Juncaceen, also solchen Pflanzen, welche landwirthschaftlich entweder gar keinen oder mindestens einen sehr geringen Werth besitzen. Die landwirthschaftlichen Kulturpflanzen verlangen einen Boden, der bis zu den Wurzeln hinan der Luft den Zutritt gestattet. Ist dieser Luftzutritt gehindert, so gehen die Vertreter einer werthvolleren Vegetation sehr bald zu Grunde.

Ein weiterer schädlicher Umstand ist der, daß bei Gegenwart von zu viel Humus sich im Boden Reduktionsprozesse geltend machen. In erster Linie giebt das im Boden vorhandene Eisenoxyd einen Theil seines Sauerstoffgehaltes zur Oxydation der Humusstoffe ab. Dadurch entsteht aus dem unschädlichen Eisenoxyd das für die Pflanzen nachtheilige Eisenoxydul. In den oberen Theilen der Ackerkrume wird dieser Prozeß nur stattfinden, wenn der Luftzutritt ein mangelhafter ist, während er in den unteren Schichten nur vor sich gehen kann, wenn dort humose Bestandtheile vorhanden sind. Daß der erstere Umstand durch einen zu großen Wassergehalt des Bodens herbeigeführt werden muß, leuchtet ohne Weiteres ein. Daß der Humus thatsächlich das Eisenoxyd in der angedeuteten Weise umzusetzen vermag, ist von Detmer[1]) experimentell nachgewiesen worden.

Diese nachtheiligen Eigenschaften der Humuskörper können sich für den Landwirth unangenehm genug bemerkbar machen. In den weitaus meisten Fällen trifft man aber in der Ackerkrume keine so großen Humusmengen an, daß dieselben die beschriebenen üblen Einflüsse hervorzubringen vermögen. In der Regel wird sich der Humus in einem für die Pflanzenkultur günstigem Lichte zeigen, weil er meistens mit genügenden Quantitäten mineralischer Bodenbestandtheile gemischt vorkommt, wodurch seine extremen Eigenschaften ausgeglichen werden.

Zum Schluß ist aber noch einmal auf die Frage: Ist der Humus ein Pflanzennährstoff? zurückzukommen. Bei dieser allgemeinen Form der Fragestellung kann eine bejahende Antwort erfolgen. Die Endprodukte der Zersetzung des Humus sind Kohlensäure, Wasser und Ammoniak. Diese werden alle von den Pflanzen aufgenommen und sind daher als Nährstoffe derselben zu bezeichnen. Wenn auch Kohlensäure und Wasser den Pflanzen aus anderen Quellen in genügenden Mengen zu Gebote stehen, so muß die Entstehung des Ammoniaks entschieden als eine landwirthschaftlich höchst wichtige Thatsache hingestellt werden, da das Ammoniak resp. die Salpersäure, welche aus demselben leicht entsteht, mit zu den wichtigsten Pflanzennährstoffen rechnet.

Die obige Frage sollte aber nicht in diesem Sinne erledigt werden, sondern es handelte sich darum, ob der Humus direkt von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Thaer und seine Nachfolger bauten, wie ausführlich dargelegt wurde, auf dieser Grundlage ihre Theorie von der Pflanzen-

---

1) A. a. O. S. 100.

ernährung auf. Die letztere wurde dann durch die epochemachende Schrift Liebigs als unrichtig hingestellt. Trotzdem fanden sich aber auch später noch immer wieder Vertreter der alten Humustheorie, die sich theilweise auf Experimente stützten. Es würde sich nun fragen, ob thatsächlich eine direkte Aufnahme des Humus seitens der Pflanzen erfolgt, inwieweit also neuere, sorgfältig durchgeführte Untersuchungen den früher erwähnten Autoren Recht geben. Zuvor kann ich es mir nicht versagen, an dieser Stelle noch einmal auf die Theorie Grandeaus hinzuweisen. Dieselbe erscheint, in diesem Lichte betrachtet, gleichsam als die alte Humustheorie in umgekehrter Weise. Denn wenn nach Ansicht Thaers und seiner Schüler die Aschenbestandtheile selber nicht in die Pflanzen übergehen, sondern nur den Humus dazu befähigen, so nimmt im Gegensatz dazu Graudeau an, daß die Humusstoffe seiner „matière noire“ nicht selber als Pflanzennahrung dienen, sondern nur die Aschenbestandtheile in solche Verbindungen bringen, daß sie zur Aufnahme in die Pflanze befähigt sind. Wenn dieser eigenartigen Thatsache auch keine weitere Bedeutung beizumessen ist, so ist sie jedenfalls interessant genug, um kurz erwähnt zu werden.

Die von de Saussure u. A. gehandhabte Art der Beweisführung ist nicht stichhaltig, weil bei dieser Versuchsanstellung ein Verlust an Humusstoffen durch einfache Oxydationsvergänge nicht ausgeschlossen ist. Die Aufnahme der Humusstoffe seitens der Pflanze kann erst als bewiesen angesehen werden, wenn dieselben in der Pflanze selbst wirklich gefunden worden sind. Wenn man die Resultate der Wasserkulturen und ferner die geringe Löslichkeit der Humusstoffe, welche nach der Aufnahme in die Pflanze noch durch die saure Reaktion der pflanzlichen Säfte verstärkt werden müßte, bedenkt, so muß von vornherein die Aufnahme der humosen Stoffe sehr zweifelhaft erscheinen. Eine bestimmte Antwort auf eine derartige Frage kann aber nur der direkte Versuch geben.

Ein Uebergang von Humus in die Pflanze könnte nur durch in den Wurzeln sich abspielende endosmotische Vorgänge stattfinden, weshalb zunächst die Diffusionsfähigkeit der in Rede stehenden Körper zu prüfen ist. Dies ist von Detmer[1]) unternommen worden. Es zeigte sich bei diesen Versuchen, daß die niederen Oxydationsprodukte, welche als Humin und Huminsäure bezeichnet werden, durchaus colloide Körner sind. Bestätigt wird dieses Resultat dadurch, daß es dem erwähnten Experimentator nicht gelang, in Pflanzenwurzeln, die in Lösungen jener Humusstoffe gewachsen waren, die letzteren mikroskopisch nachzuweisen. Eine Aufnahme von organischen Stoffen durch die Pflanzen kann trotzdem nicht befremdlich erscheinen, weil die Untersuchungen von W. Wolf[2]) so wie von Cameron[3]) und Hampe[4]) bewiesen haben, daß Harnstoff, Leucin, Tyrosin und Glycocoll direkt in die Pflanzen überzugehen vermögen. In einer späteren Arbeit zeigte Detmer denn auch[5]), daß in der That Kren- und Apokrensäure, also die höchsten Oxydationsprodukte des Humus diffusibel sind und sich ferner in den Pflanzenwurzeln, die in ihren Lösungen wachsen, mit Hülfe des Mikroskops auffinden lassen. Eine geringe Diffusionsfähigkeit der humosen Stoffe ist noch bestätigt worden von Tuxen[6]) und Petermann[7]). Simon[8]) will, wie schon früher bemerkt, eine diffusible Verbindung des Humus mit der Phosphorsäure nachgewiesen haben. Diese Beobachtungen Simons können als sehr beweiskräftig aber nicht angesehen werden, weil verschiedene andere Versuche sie als irrthümlich hinstellen.

---

1) Die natürlichen Humuskörper des Bodens, S. 104.
2) Knop, Kreislauf des Stoffs, I, S. 618.
3) Landw. Versuchsstationen, VIII, S. 235.
4) Daselbst VII, S. 8.
5) Daselbst XV, S. 285.
6) Daselbst XXVII, S. 114.
7) Biedermanns Centralblatt, 1883, S. 361.
8) Fühlings landw. Zeitung, 1875, S. 440.

Es scheint mithin auch nach den neuesten Untersuchungen, daß der Humus wenigstens in seinen höchsten Oxydationsprodukten ein direktes Nahrungsmittel der Pflanzen darstellen kann. Eine wesentlich praktische Bedeutung ist diesem Umstande jedoch nicht beizulegen. Der Kohlensäuregehalt der Luft ist neben dem Wasser zur Bildung der organischen Substanz der chlorophyllhaltigen Pflanzen völlig ausreichend. Ob daneben in geringen Mengen bereits vorgebildete organische Stoffe in Form von Humus aufgenommen werden, das ist für die höheren Gewächse durchaus gleichgiltig. Auch ohne diese Nahrungszufuhr kann die Assimilation vollständig dem vorhandenen Bedürfnisse genügen.

Selbst mit Rücksicht auf diese Thatsache darf man sagen, daß für unsere heutigen Landwirthe kein Grund vorliegt, den Humus nicht ebenso hoch zu schätzen und auf dessen Erhaltung und normale Zersetzung in der Ackerkrume Bedacht zu nehmen, wie es die Landwirthe zu Thaers Zeiten, wenn auch aus einem anderen Grunde, für nothwendig erachteten. Die landwirthschaftliche Bedeutung des Humus ist, wie die vorhergehenden Erörterungen gezeigt haben, auch im Lichte der heutigen Wissenschaft betrachtet eine außerordentlich große, und ein Ackerbau auf einem völlig humusfreien Boden auch jetzt noch unmöglich. In Gegenden mit mineralischen Bodenarten ist es deshalb sehr angebracht, zur Verbesserung der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Ackerkrume alle verfügbaren Mittel anzuwenden, um den Boden an Humus zu bereichern und namentlich auch mit den vorhandenen humusbildenden Stoffen sorgsam umzugehen.